K. B.
Appellationsgerichts Advokat
N. M. Knecht
zu
WÜRZBURG

Astr. o. 22a

Die

Lehren der Aſtronomie

für

Gebildete faßlich dargeſtellt

von

Sir John F. W. Herſchel,

Ritter des Guelphen-Ordens,
Mitgliede der Königlichen Societät der Wiſſenſchaften zu London und anderer inländiſchen und auswärtigen gelehrten Geſellſchaften.

Aus dem Engliſchen.

Revidirt und mit einigen Anmerkungen begleitet

von

F. B. G. Nicolai,

Großherzogl. Badiſchem Hofrath und Director der Mannheimer Sternwarte.

Mit Abbildungen auf Kupfer und Stein.

N. M. KNECHT
KGL. RECHTSANWALT
WÜRZBURG

Heilbronn und Leipzig 1838.

J. D. Claßiſche Buchhandlung.

BIBLIOTHECA
CIVITATIS
BABENBERGENSIS.

Vorwort.

Bereits vor drei Jahren veranſtalteten wir eine, in Heften ausgegebene, deutſche Ueberſezung des in England erſchienenen Treatise on Astronomy von Sir John Herſchel. Die Vollendung des lezten Heftes, als des vierten, wurde durch mehrfache Hinderniſſe verzögert, die jezt beſeitigt ſind, ſo daß wir nunmehr hiermit das ganze Werk dem Publikum übergeben. — Auf unſer Erſuchen hat Herr Hofrath Nicolai in Mannheim das Manuſcript der von uns beſorgten Ueberſezung zuvor einer ſorgfältigen Reviſion und genauen Vergleichung mit dem engliſchen Originale unterworfen, und bei dieſer Gelegenheit auch einige in dem leztern ſelbſt vorkommende Irrthümer, die zum Theil auf Schreib- und Druckfehlern beruhen, verbeſſert, auch hie und da, wo es ihm zur Vervollſtändigung nöthig ſchien, das Original durch einige Zuſäze bereichert. Hierdurch hoffen wir, allen Gebildeten, die ſich nicht etwa eine blos oberflächliche, ſondern, in ſo weit ſolches ohne große mathematiſche Vorkenntniſſe mög-

lich iſt, vielmehr eine tiefer eingehende, gründliche Einſicht in die Hauptlehren der Aſtronomie zu verſchaffen wünſchen, ein hierfür ganz vorzüglich paſſendes Lehrbuch zu übergeben. Da ferner die mathematiſchen Vorkenntniſſe, welche das Werk vorausſezt, kaum über diejenigen hinausgehen, welche gewöhnlich auf Gymnaſien und Lyceen gelehrt werden, ſo glauben wir, daß es ſich insbeſondere auch zu academiſchen Vorträgen über Aſtronomie für Alle eignen wird, die, ohne gerade in der Folge Aſtronomen vom Fache werden zu wollen, ſich doch eine ſolche Kenntniß von der erhabenen Wiſſenſchaft der Sternkunde zu erwerben wünſchen, die hinreichend iſt, um ſich von der Einrichtung des Weltalls, von den Geſetzen, nach denen die Bewegungen der Himmelskörper vor ſich gehen, und von den mancherlei hieraus folgenden Himmelserſcheinungen klare Begriffe zu verſchaffen, — eine Kenntniß, die Jedem der auf höhere Bildung Anſprüche machen will, nicht abgehen ſollte, da ſie unläugbar auf Geiſt und Herz den wohlthätigſten Einfluß ausübt.

Heilbronn, den 1. März 1838.

J. D. Claßiſche Buchhandlung.

Die

Lehren der Aſtronomie

von

Sir John F. W. Herſchel.

Inhalt.

Einleitung.

Kap. I. Allgemeine aſtronomiſche Begriffe . Seite 1
— II. Von der Natur der aſtronomiſchen Inſtrumente, und von den Beobachtungen im Allgemeinen . . . . . — 63
— III. Mathematiſche Geographie . . . . . — 117
— IV. Uranographie. . . . . — 176
— V. Von der Bewegung der Sonne. . — 207
— VI. Vom Monde. . . . . — 244
— VII. Von der Schwere auf der Erde und dem allgemeinen Gravitationsgeſeze. — 267
— VIII. Von dem Sonnenſyſteme. . . . . . . — 282
— IX. Von den Nebenplaneten. . . . . . . — 335
— X. Von den Kometen. . . . . — 349
— XI. Von den Störungen. . . . . — 365
— XII. Von den Fixſternen. . . . . — 439
— XIII. Vom Kalender. . . . . — 484
Ueberſichtstafel der Elemente des Sonnenſyſtems. . . . . — 493
Regiſter . . . . — 496

Die
Lehren der Aſtronomie
für
Gebildete faßlich dargeſtellt
von
Sir John F. W. Herſchel,
Ritter des Guelphen-Ordens ꝛc. ꝛc.

Einleitung.

1) Wer ein wiſſenſchaftliches Studium beginnt, deſſen erſte Beſtrebung muß darauf gerichtet ſeyn, ſeinen Geiſt dadurch für die Aufnahme d r Wahrheit empfänglich zu machen, daß er über die Gegenſtände und Verhältniſſe, welche er zu unterſuchen Willens iſt, alle die unreifen und übereilt angenommenen Meinungen, die dazu beitragen, ihn zu verwirren oder irre zu leiten, aufgiebt, oder wenigſtens nicht mehr ſo feſt hält; und daß er ſich für die vorurtheilsfreie Annahme jeder Folgerung, die auf ſorgfältiger Beobachtung und logiſchem Beweiſe beruht, — ſollte ſie auch den Anſichten entgegen ſeyn, die er früher ſelbſt gewonnen, oder ohne weitere Prüfung von Andern erhalten hat, — durch eine Art von Anſtrengung und Entſchluß kräftigt. Ein ſolches Streben iſt in d r That der Anfang derjenigen intellektuellen Disciplin, die einen der wichtigſten Zwecke aller Wiſſenſchaft bildet. Es iſt die erſte Annäherung an jenen Zuſtand geiſtiger Reinheit, die uns allein für eine volle und ſtete Wahrnehmung moraliſcher Schönheit ſowohl als phyſiſcher Zweckmäßigkeit befähigen kann. Es iſt „der Augentroſt und die Raute,“ mit welchen wir „unſer Geſicht ſchärfen“ müſſen, bevor wir die Grundzüge der Wahrheit und Natur auffaſſen und betrachten können.

2) Keine Wiſſenſchaft bedarf einer ſolchen Vorbereitung mehr, als die Aſtronomie, oder nimmt in höherem Grade die intellektuelle Unbefangenheit in Anſpruch, welche bereit iſt, anzunehmen, was bewieſen, oder zuzugeſtehen, was höchſt wahrſcheinlich gemacht worden iſt, wie neu und ungewöhnlich auch die Geſichtspunkte ſeyn mögen, in welche ſelbſt die bekannteſten Gegenſtände dadurch verſetzt werden. Faſt alle ihre Folgerungen ſtehen in offenem und auffallendem Widerſpruche mit denen der oberflächlichen und gewöhnlichen Beobachtung, und mit dem, was ſich jedem als das poſitivſte Zeugniß ſeiner Sinne ſo lange darſtellt, bis er die Beweiſe für's Gegentheil eingeſehen und erwogen hat. So wird die Erde, auf welcher er ſteht, und welche Jahrhunderte hindurch den feſteſten Structuren der Kunſt oder der Natur eine unerſchütterte Grundlage gewährt hat, vom Aſtronomen ihres Attributes der Unbeweglichkeit beraubt, und von ihm als ein Weltkörper geſchildert, der ſich raſch um ſeinen Mittelpunkt dreht, und zugleich auch mit reißender Schnelligkeit im Raume fortbewegt. Die Sonne und der Mond, welche dem Laien als runde Körper von eben nicht beträchtlicher Größe erſcheinen, werden in des Aſtronomen Einbildungskraft gewaltig große Kugeln, von welchen die eine ſelbſt der Erde an Größe nahe kommt, die andere ſie unendlich übertrifft. Die Planeten, welche nur als Sterne von etwas größerem Glanze, als die übrigen, erſcheinen, ſind ihm geräumige, kunſtvoll eingerichtete und bewohnbare Welten, mehrere von ihnen ungleich größer und viel merkwürdiger ausgerüſtet, als die Erde, welche er bewohnt, andere dagegen weniger ſo; und die Sterne im eigentlichen Verſtande, welche ſich einem gewöhnlichen Vorſtellungsvermögen nur als leuchtende Funken oder glänzende Atome darſtellen, ſind ihm Sonnen von mannichfacher und überſchwenklicher Erhabenheit — glänzende Mittelpunkte des Lebens und des Lichtes für Myriaden unſichtbarer Welten: ſo daß, wenn er die Größe der Ideen, die ſeine Rechnungen erweckt haben, mit ſeinen erweiterten Gedanken umfaßt, und ſeine Phantaſie, ſo wie das Vermögen der Sprache erſchöpft hat,

um Gleichniſſe zu erſinnen und bildliche Redensarten, welche die Unermeßlichkeit des Maaßſtabes erläutern, wonach ſein Weltall erbaut iſt, er zurückſtarrt auf den Himmelskörper ſeiner Geburt, der ihm in der Vergleichung als ein bloßer Punkt und ſelbſt in dem winzigen Sonnenſyſteme, zu welchem er gehört, ſo verloren erſcheint, daß er für einige der größeren und entfernteren Planeten dieſes Syſtemes ſchon unſichtbar iſt, und von ihnen nicht geahnet wird.

3) Kaum irgend etwas vermag die Gewalt, welche die Wahrheit auf den Geiſt des Menſchen äußert, ſobald nicht Beweggründe des Intereſſes oder der Leidenſchaft entgegen ſtehen, in ein helleres Licht zu ſetzen, als die vollkommene Bereitwilligkeit, mit welcher alle dieſe Folgerungen zugeſtanden werden, wenn der Beweis derſelben völlig begriffen worden iſt, und der beharrliche Einfluß, den ſie über unſern Glauben erlangen, wenn ſie einmal zugegeben worden ſind. Im Verlaufe dieſes Buches nehmen wir es deshalb für ausgemacht an, daß der Leſer mehr davon ausgeht, das Syſtem kennen zu lernen, wie es jetzt feſtſteht, was eben der Zweck des Buches iſt, als Einwendungen dagegen zu machen oder zu erneuern, mit einem Worte, daß er mit gutem Willen ans Werk gehe; bei welcher Annahme wir uns nicht allein die Mühe erſparen, Beweisthümer auf Beweisthümer zu häufen, um den Zweifler zu überzeugen, ſondern die auch zugleich die Fortſchritte des Leſers ſehr erleichtert, inſofern er es leichter und befriedigender finden wird, gleich anfangs einen geraden und beſtimmten Pfad zu verfolgen, als beſtändig Abſtecher zu machen, und ſich ſelbſt in Schwierigkeiten und Umſchweife zu verwickeln, ſo daß er endlich ſich doch noch genöthigt ſehen würde, unſern Weg einzuſchlagen.

4) Die Methode, welche wir deshalb zu befolgen Willens ſind, iſt weder ſtreng genommen die analytiſche noch die ſinthetiſche, ſondern vielmehr eine Verbindung beider mit Hinneigung zu letzterer, wie es für ein Lehrbuch am beſten paßt. Es iſt nicht unſere Abſicht, Gegner zu überzeugen oder zu widerlegen, noch unter

dem Scheine angenommener Unwiſſenheit erſt nach Grundſätzen zu forſchen, in deren vollem Beſitze wir die ganze Zeit über waren, ſondern blos zu lehren, was wir wiſſen. Die ziemlich engen Grenzen eines einzigen Bandes und die Nothwendigkeit, bei jedem Punkte innerhalb dieſer Grenze beſonders ausführlich in der Erklärung zu werden, wie auch der im hohen Grade gereifte und beſtimmte Charakter der Wiſſenſchaft ſelbſt, ſprechen für die Anwendbarkeit und die Wahl dieſer Lehrmethode. Anwendbar iſt dieſelbe, weil keine Gefahr jetzt vorhanden iſt, daß eine Umwälzung, gleich denen, welche die Geſtalt der weniger vorgeſchrittenen Wiſſenſchaften täglich verändern, in der Aſtronomie eintrete, alle unſere Hypotheſen vernichte, und unſere Angaben in Verwirrung bringe. Wählbar, weil der Raum, der darauf verwendet werden müßte, um entweder widerlegte Syſteme zu bekämpfen, oder den Leſer in langſamen und abgemeſſenen Schritten vom Bekannten zum Unbekannten zu führen, weit vortheilhafter benutzt werden kann für ſolche erklärende Erläuterungen, welche ihn mit der Aufeinanderfolge der Erſcheinungen und ihrer Entſtehungsart vertraut machen, und ihm, ſo zu ſagen, einen praktiſchen Sinn dafür einflößen. Wir werden deshalb die analytiſche Methode nicht verwerfen, wo ſie leichter und gerader zum Ziele führt, noch viel weniger uns durch ſteifes Anhangen an Methode auf irgend eine Weiſe Feſſeln anlegen. Da wir nur ſchreiben, um verſtanden zu werden, und in dem kleinſtmöglichen Raume ſo viel Belehrung mitzutheilen, als mit deutlicher und wirkſamer Mittheilung verträglich iſt, ſo können wir weder dem Syſteme, noch der Form, noch einem gekünſtelten Vortrage irgend ein Opfer bringen.

5) Wir nehmen von vorn herein das Copernicaniſche Weltſyſtem als verbürgt an, und bauen darauf, daß die leichte, begreifliche und natürliche Erklärung, die es für alle zu erläuternden Erſcheinungen darbietet, in der Seele des Studirenden, auch ohne die Förmlichkeit der Demonſtration, oder die überflüſſige Weitſchweifigkeit des Lobes, die Ueberzeugung ſeiner Wahrheit zurücklaſſen werde, was an die wichtige Bemerkung Ba-

co's erinnert: „Theoriarum vires, arcta et quasi se mutuo sustinente partium adaptatione, qua, quasi in orbem cohaerent, firmantur;“ *) wir werden auch nicht verfehlen, den Leſer, ſo wie es die Gelegenheit mit ſich bringt, auf den Contraſt aufmerkſam zu machen, den die außerordentliche Einfachheit deſſelben mit der Complication anderer Hypotheſen bildet.

6) Die vorläufigen Kenntniſſe, von denen es, der nützlichern Lektüre der folgenden Seiten wegen, zu wünſchen wäre, daß ſie der Studirende beſitzt, beſtehen in hinlänglicher Vertrautheit mit der Decimal- und Sexageſimalrechnung; in einiger Bekanntſchaft mit Geometrie und Trigonometrie, ſowohl der ebenen, als der ſphäriſchen; in den erſten Grundſätzen der Mechanik; und in ſo viel Verſtändniß der Optik, um die Conſtruction und den Gebrauch des Fernrohres und einiger andern einfacheren Inſtrumente einzuſehen. Je mehr man von dieſen Kenntniſſen bei der Lektüre dieſes Buches beſitzt, deſto leichter wird man Fortſchritte machen, und deſto vollſtändiger wird die daraus geſchöpfte Belehrung ſeyn; aber wir werden uns in jedem Falle bemühen, ſo weit es geſchehen kann, ohne die Deutlichkeit und jene nützliche Kürze aufzuopfern, die in der Abweſenheit von Weitſchweifigkeit und Epiſoden beſteht, Alles, was wir zu ſagen haben, von andern Büchern ſo unabhängig als möglich zu machen.

7) Endlich müſſen wir diejenigen unſerer Leſer, welche ihre aſtronomiſchen Studien mit dem gegenwärtigen Werke vielleicht anfangen und enden (obgleich die Zahl derſelben, wenigſtens der letzteren, gering ſeyn dürfte), aufs Beſtimmteſte darauf hinweiſen, daß der höchſte Anſpruch dieſes Buches bloß darin beſteht, ſie auf die Thürſchwelle dieſer beſondern Abtheilung des Tempels der Wiſſenſchaft, oder auch auf eine Anhöhe

*) Die Beſtätigung einer Theorie beruht auf dem völligen Zuſammenpaſſen ihrer Theile, wodurch ſie, gleich denen eines Gewölbes, ſich gegenſeitig tragen und ein zuſammenhängendes Ganze bilden.

auſſerhalb deſſelben zu ſtellen, von wo aus ſie ſo ziemlich einen allgemeinen Begriff von ſeiner Struktur erlangen können; oder höchſtens denen, welche einzutreten wünſchen, einen Grundriß ſeiner Zugänge in die Hand zu geben, und ſie in den Beſitz des Looſungswortes zu ſetzen. Zulaſſung ins Heiligthum deſſelben und zu den Vorrechten und Gefühlen eines Geweihten iſt nur durch ein einziges Mittel zu erlangen, — durch eine tüchtige und ausreichende Kenntniß der Mathematik, des Hauptmittels aller genauen Forſchung, ohne welches man weder in dieſem, noch in irgend einem andern der höhern wiſſenſchaftlichen Fächer, ſolche Fortſchritte machen kann, um auf eine unabhängige Meinung über irgend einen Gegenſtand der Diskuſſion innerhalb dieſes Gebietes Anſpruch machen zu dürfen. Es iſt nicht ohne Anſtrengung für diejenigen, welche dieſe Kenntniß beſitzen, ſich über ſolche Gegenſtände mit denen, welche ſie nicht beſitzen, zu unterhalten, und ihre Sprache und Erläuterungen den Bedürfniſſen einer ſolchen Unterhaltung anzupaſſen. Sätze, zwiſchen welchen der Eine faſt gar keinen Unterſchied macht, ſind für den Andern wichtige und ſchwierige Theoreme; eben ſo wenig bietet ſich der Beweis derſelben dem Geiſte eines Jeden auf dieſelbe Weiſe dar. Wenn wir dergleichen Sätze unter ſolchen Umſtänden lehrten, haben wir uns nicht auf die reine und abſtracte Vernunft berufen, ſondern auf das Gefühl der Aehnlichkeit — auf Praxis und Erfahrung. Grundſätze und Arten der Wirkung ſind aufgeſtellt worden nicht durch direkte Schlußfolgerung aus anerkannten Urſätzen, ſondern wir haben einfache und bekannte Beiſpiele vorgelegt, bei welchen dieſelben Grundſätze und dieſelben, oder ähnliche, Wirkungsarten ſtattfinden; auf dieſe Art haben wir gewiſſermaßen in jedem einzelnen Falle eine beſondere Induction (Herleitung eines allgemeinen Satzes aus Einzelnerfahrungen) aufgeſtellt, und mit jedem Schritte einen kleinen Complex von Wiſſenſchaft zuſammengetragen, um den Erforderniſſen deſſelben zu begegnen. Der Unterſchied iſt etwa der, ſich einen Weg durch ein un-

betretenes Land bahnen, und mit Bequemlichkeit auf einer breiten und ebenen Landſtraße ſich fortbewegen, — d. h. nämlich, wenn wir entſchloſſen ſind, uns ganz verſtändlich zu machen und überall uns auf die Vernunft zu berufen. Die Methode, eine Behauptung aufzuſtellen, und ohne Weiteres zu verlangen, daß der Leſer ihr Glauben ſchenken ſolle (obgleich in manchen verwickelten Fällen unerläßlich, wo eine erläuternde Erklärung dadurch, daß ſie für beide Theile zu weitſchweifig und läſtig werden würde, ihren Zweck verfehlen muß), werden wir nie anwenden, und möchten ſie auch Andern nicht empfehlen.

8) Obſchon es etwas Neues iſt, den Weg mathematiſcher Demonſtration bei der Behandlung von Gegenſtänden, die ſich dafür eignen, zu verlaſſen, und einen bedeutenden wiſſenſchaftlichen Zweig ganz, oder zum größten Theile, auf dem Wege der Erläuterung und bekannter Vergleichungen vorzutragen: ſo iſt es doch nicht unmöglich, daß auch diejenigen, welche bereits mit unſerm Gegenſtande bekannt ſind, und die ihre Kenntniſſe durch die unläugbar höhere und beſſere Praxis erlangt haben, welche mit den ausgeſprochenen Zwecken des gegenwärtigen Werkes unvereinbar iſt, bei der Lektüre des letzteren ihre Rechnung finden werden, und zwar aus dem Grunde, weil es immer von Nutzen iſt, einen gegebenen Complex von Kenntniſſen dem Geiſte aus ſo mannichfaltigen Standpunkten darzubieten, als nur immer möglich iſt. Es iſt eine Eigenthümlichkeit der Erläuterungen dieſer Art, daß ſie nicht zwei denkende Individuen auf dieſelbe Weiſe, oder mit derſelben Kraft, ergreifen, weil nicht zwei ſolcher Individuen die nämlichen Vorſtellungen beſitzen, oder ſie auf gleichem Wege erlangt haben. Es kann deshalb recht gut der Fall eintreten, daß bei dieſer Art des Vortrages irgend ein Satz ſelbſt Einem, der ganz gut damit bekannt iſt, nicht blos in einem neuen und ungewöhnlichen, ſondern auch in einem auffallendern und genügendern Lichte erſcheint; daß einige Dunkelheit zerſtreut, irgend eine innere Ahnung aufgeklärt, oder ſogar irgend ein Glied ergänzt wird, was zur Wahrnehmung von Verbindungen und zu Fol-

gerungen führen kann, die vorher ganz unbekannt waren. Und die Wahrſcheinlichkeit dieſes Erfolges wird um ſo größer, wenn, wie in dem gegenwärtigen Falle, die gewählten Erläuterungen nicht mit Sorgfalt aus Büchern zuſammengetragen ſind, ſondern ſich dem Geiſte des Verfaſſers von ſelbſt dargeboten haben, weil ſie mit ſeinen Anſichten am meiſten im Einklange ſtanden. Dabei iſt es, wie ſich verſteht, nicht ſeine Abſicht, bei allen, oder einzelnen derſelben, mehr Anſpruch auf Originalität zu machen, als ſie wirklich beſitzen.

9) Ueberdieß giebt es in der Anwendung der mechaniſchen Grundſätze, mit denen der Mathematiker nur zu vertraut iſt, Fälle, in welchen, wenn die gegebenen Größen vorliegen, und die numeriſchen und geometriſchen Verhältniſſe ſeiner Probleme ſämmtlich dem Verſtande klar ſind, — wenn ſeine Kräfte veranſchlagt und ſeine Linien gemeſſen ſind, — ja wenn er ſogar alle ſeine künſtlichen Methoden in Anwendung gebracht hat und ganz bis zum Schluße gekommen iſt, — immer noch, ſeinen Gedanken nach, Etwas fehlt, — nicht im Beweiſe, denn er hat jedes Glied unterſucht und findet die Kette vollſtändig, — nicht in den Grundſätzen, denn dieſe ſind, wie er wohl weiß, zu feſt begründet, um erſchüttert werden zu können, — ſondern, mit einem Worte, in der Art und Weiſe der Wirkung. Er hat nach logiſchen und techniſchen Regeln eine Menge von Schlüſſen an einander gereiht, aber die Zeichen, welche er dabei anwendete, ſind nicht Bildniſſe der Natur, oder haben als ſolche ihre urſprüngliche Bedeutung für ſeinen Geiſt verloren: er hat, ſo zu ſagen, den Proceß der Natur nicht in einem Augenblicke, und ſeiner Einbildungskraft als ein Ganzes vorſchwebend, unter ſeinen Augen vor ſich gehend, erblickt. Eine bekannte Vergleichung, oder eine Erläuterung, von einem künſtlichen oder natürlichen Proceſſe entnommen, von welchem er den direkten und individuellen Eindruck beſitzt, der ihm Realität giebt und ihn mit einem Namen verbindet, wird in faſt jedem ſolchen Falle augenblicklich dieſe fehlende Form ergänzen, alle ſeine Zeichen in wirkliche Bildniſſe umwandeln, und eine lebendige Bedeutung dem

einflößen, was vorher eine lebloſe Reihenfolge von Wor- ten und Zeichen war. Wir können allerdings nicht immer uns verſprechen, dieſen Grad der Lebendigkeit in unſern Erläuterungen zu erreichen, auch ſind die zu erläutern- den Punkte ſelbſt nicht immer von der Art, daß ſie durch ein einziges im gewöhnlichen Laufe der Erfahrung anführ- bares Beiſpiel umſchrieben werden könnten, wenn wir uns dieſes Ausdruckes bedienen dürfen; aber wenigſtens der Zweck ſoll im Auge behalten werden; und da wir recht gut wiſſen, daß wir durch ſolche Verſuche für uns ſelbſt weit deutlichere Anſichten von einigen der verborgeneren Wirkungen planetariſcher Störung gewonnen haben, als es uns durch eine ins Einzelne gehende mathematiſche Forſchung gelungen war, ſo dürfen wir wohl mit Grund der Hoffnung Raum geben, daß dieſes Beſtreben auch bei Andern nicht immer ohne ähnlichen Erfolg bleiben werde.

10) Aus dem eben Geſagten ergiebt ſich, daß es nicht unſere Abſicht iſt, dem Publikum eine techniſche Abhandlung zu liefern, in welcher der Leſer, der ſich dem Studium der praktiſchen oder theoretiſchen Aſtronomie widmen will, die ausführliche Beſchreibung von Beob- achtungsmethoden niedergelegt, oder die Formeln ſo, wie er ſie bedarf, entwickelt, oder die Beweiſe derſelben ausführlich auseinander geſetzt findet. In allen dieſen Punkten wird er das gegenwärtige Werk mager und ſeinen Bedürfniſſen nicht entſprechend finden. Es verfolgt einen ganz andern Zweck, darin beſtehend: in jedem Falle blos die letzte gründliche Erklärung der Thatſa- chen, Beweiſe und Verfahrungsarten zu geben, und in allen Fällen, wo die Mathematik in Anwendung kommt, Alles zu vermeiden, was dazu beitragen könnte, ſeine Blätter mit algebraiſchen oder geometriſchen Zeichen an- zufüllen, um dagegen unter ſeine Aufſicht den Central- faden des gemeinen Menſchenverſtandes zu ſtellen, an welchem die Perlen der analytiſchen Unterſuchung un- wandelbar aufgereiht werden, der aber, bei der Auf- merkſamkeit, welche die letzteren für ſich in Anſpruch nehmen, oft dem Auge des Gaffers verborgen bleibt; auch nicht immer von denen, welche ſie anreihen, die geradeſte und am bequemſten zu verfolgende Form er-

halten hat. Dieſes iſt kein Fehler derer, welche die angedeuteten Unterſuchungen geführt haben; denn die geiſtige Anſtrengung, welche letztere in Anſpruch nehmen, iſt enorm; aber es mag vielleicht daher rühren, daß jene Männer in Erfahrung gebracht haben, wie wenig ſich blos durch gewöhnliche Helligkeit des Kopfes ausrichten läßt, wenn es gilt, ſolche Proceſſe bis zum Schluß zu bringen, und wie nothwendig es oft iſt, auf die rein mathematiſchen Bedingungen, welche den Erfolg ſichern, auf die künſtliche Behandlung ihrer Gleichungen und Reihen, mehr Aufmerkſamkeit zu verwenden, als auf diejenigen Bedingungen, welche Urſachen mit ihren Wirkungen, und beide mit der menſchlichen Vernunft verbinden. Dieſem Umſtande hat man vielleicht zum Theile die Undeutlichkeit der Anſchauung zuzuſchreiben, welche der eifrig Studirende oft als einen ſtörenden Uebelſtand beklagt, und die man noch häufiger der natürlichen Trübung einer für gewöhnliche Faſſungskraft zu erhabenen Atmoſphäre ironiſch zuzuſchreiben pflegt. Wir hoffen, beiden Claſſen von Leſern dadurch einen guten Dienſt zu erweiſen, daß wir, ſo weit unſere Kräfte reichen, dieſe zufällige Dunkelheit zerſtreuen, und der gewöhnlichen ununterrichteten Faſſungskraft zeigen, was ſie zu erreichen hoffen darf, und was nicht.

Erſtes Capitel.

Allgemeine aſtronomiſche Begriffe. — Geſtalt und Größe der Erde. — Horizont und deſſen Depreſſion. — Die Atmoſphäre. — Die Strahlenbrechung. — Die Dämmerung. — Erſcheinungen die von der ſcheinbaren täglichen Bewegung des Himmels herrühren. — Die Parallaxe. — Erſte Erlangung einer Idee von der Entfernung der Sterne. — Erklärungen.

11) Die Größen, die Entfernungen, die Anordnung und die Bewegungen der Himmelskörper, welche das ſichtbare Univerſum ausmachen, ihre Einrichtung und ihr phyſiſcher Zuſtand, ſo weit ſie uns bekannt ſeyn können, mit ihren gegenſeitigen Einflüſſen und Beziehungen zu einander, ſo weit dieſelben aus den hervorgebrachten Wirkungen gefolgert und durch geſetzmäßige Vernunftſchlüſſe feſtgeſtellt werden können, bilden die Geſammtheit der Gegenſtände, auf welche die Aufmerkſamkeit des Aſtronomen gerichtet iſt. Schon der Ausdruck Aſtronomie*), welcher das Geſetz oder die Regel der Sterne

---

*) Ἀστηρ, ein Stern; νόμος, ein Geſetz; oder νέμειν, hüten, wie ein Hirte ſeine Heerde, ſo daß ἀστρονόμος „Hirte der Sterne" bedeutet. Die beiden Etymologieen laufen indeſſen auf eins hinaus.

bezeichnet (unter welchen die Alten nicht allein die eigentlichen Sterne, ſondern auch die Sonne, den Mond und alle ſichtbaren Beſtandtheile des Himmels verſtanden), zeigt dieſes zur Genüge an; und obſchon der Ausdruck Aſtrologie, welcher die Vernunft, die Theorie, oder die Erklärung der Sterne*) bezeichnet, in ſeinem Gebrauche herabgewürdigt, und auf abergläubiſche und täuſchende Verſuche, künftige Ereigniſſe, vermöge ihrer Abhängigkeit von angeblichen planetariſchen Einflüſſen, zu weiſſagen, beſchränkt worden iſt, ſo hatte doch dieſer Ausdruck urſprünglich jene Bedeutung.

12) Aber außer den Sternen und anderen Himmelskörpern iſt die Erde ſelbſt, als einzelner Himmelskörper betrachtet, ein Hauptgegenſtand der Erwägung des Aſtronomen, ja in der That der wichtigſte von allen. Ihre Wichtigkeit in praktiſcher ſowohl, als theoretiſcher Bedeutung beruht nicht allein in ihrer Nähe und in ihrer Beziehung zu uns, als lebendigen Geſchöpfen, denen ſie die Befriedigung aller Bedürfniſſe gewährt, ſondern darin, daß ſie der Standpunkt iſt, von wo aus wir alle übrigen Himmelskörper erblicken, und zugleich der einzige unter denſelben, von welchen wir zuerſt beſtimmte Merkmale und Maaße entnehmen können, um mittelſt derſelben die Veränderungen ihrer Stellung zu erkennen, oder ihre Entfernungen zu vergleichen.

13) Dem Leſer, welcher jetzt zum erſtenmale ein Werk über Aſtronomie in die Hand bekommt, muß es ſicherlich ſonderbar vorkommen, wenn er findet, daß die Erde mit den Himmelskörpern in gleiche Claſſe geſetzt, und daß für, dem Anſcheine nach, ſo verſchiedene Gegenſtände eine gemeinſchaftliche Natur angenommen wird. Denn was kann in der That anſcheinend verſchiedenartiger ſeyn, als die weite und ſcheinbar unermeßliche Ausdehnung der Erde, verglichen mit den Sternen, die

---

*) Λόγος, Vernunft, oder Wort, das Vehikel der Vernunft, der Dolmetſcher des Gedankens.

nur als Punkte ſich darſtellen, und gar keine Größe zu haben ſcheinen? Die Erde iſt dunkel und undurchſichtig, während die Himmelskörper glänzend ſind. Wir bemerken an der Erde keine Bewegung, an jenen dagegen eine beſtändige Veränderung des Ortes, mögen wir ſie nun zu verſchiedenen Stunden des Tages, oder der Nacht, oder zu verſchiedenen Jahreszeiten beobachten. Deßhalb nahmen die Alten, nur einer oder zwei der Aufgeklärtern unter ihnen ausgenommen, keine ſolche gemeinſchaftliche Natur an; und indem ſie auf dieſe Weiſe die Himmelskörper und ihre Bewegungen außer den Bereich der Analogie und der Erfahrung ſetzten, ſchnitten ſie in der That jede Schlußfolgerung von dem, was hier unten vorgeht, auf das, was ſich in den Regionen ereignet, in welchen jene exiſtiren und ſich bewegen, vollſtändig ab. Unter ſolchen Umſtänden konnte die Aſtronomie nicht als eine Wiſſenſchaft von Urſache und Wirkung beſtehen, ſondern mußte ſich bloß auf eine Aufzeichnung der Erſcheinungen beſchränken, ohne alle Verbindung mit irgend einem Verſuche, dieſelben nach vernünftigen Grundſätzen zu erklären. Indem man dieſes Vorurtheil beſeitigt, thut man deßhalb den erſten Schritt, um zu erfahren, wie ſich die Sache eigentlich verhält; und der Leſer hat die erſte Mühe auf die Erlangung einer richtigen Erkenntniß verwendet, wenn er gelernt hat, ſich mit der Idee vertraut zu machen, daß die Erde nach allem weiter nichts ſeyn könne, als ein großer Stern. Wie richtig eine ſolche Anſicht ſeyn möge, und mit welchen Beſchränkungen und Modificationen ſie einzuräumen ſey, werden wir ſogleich näher ſehen.

14) Da wir, um richtige Begriffe von der Anordnung vieler Himmelskörper im Raume zu erlangen, denen wir uns nicht nähern und ſie unterſuchen können, weiter nichts zu thun vermögen, als ſtill zu ſitzen und ihre Entwickelungen abzuwarten, ſo muß es offenbar für uns zuerſt von großem Belange ſeyn, zu wiſſen, ob dasjenige, was wir Stilleſitzen nennen, in der That auch dasjenige ſey, was wir darunter verſtehen: ob der Standort, von wo aus wir ſie ſehen, mit uns

ſelbſt und allen Gegenſtänden, die uns unmittelbar umgeben, nicht ſelbſt, ohne daß wir es gewahr werden, in Bewegung ſey. Die ſcheinbaren Orte einer Menge von Gegenſtänden und ihre ſcheinbare gegenſeitige Anordnung iſt demnach weſentlich abhängig von dem Standpunkte des Beobachters unter ihnen; und wenn dieſer Standpunkt, ohne Wiſſen des Beobachters, ſelbſt der Veränderung unterliegt, ſo wird in den Lagen der Gegenſtände zu einander eine Veränderung eingetreten zu ſeyn ſcheinen, ohne daß es wirklich der Fall iſt. Verhält ſich dieſes aber in der That ſo, ſo folgt daraus, daß nicht alle Bewegungen, die wir unter den Sternen zu bemerken glauben, wirkliche Bewegungen ſind, ſondern daß wenigſtens ein Theil der Veränderungen des relativen Ortes, die wir unter den Sternen wahrnehmen, bloß ſcheinbar, und das Reſultat der Veränderung unſeres eigenen Standpunktes ſeyn müſſe; und daß, wenn wir jemals zu einer Kenntniß ihrer wirklichen Bewegungen gelangen wollen, dieſes nur dadurch geſchehen kann, daß wir zuerſt unſere eigene erforſchen, und die Wirkungen derſelben gehörig in Anſchlag bringen. Die Frage, ob die Erde im Zuſtande der Bewegung oder der Ruhe ſich befinde, und wenn erſteres der Fall iſt, wie dieſe Bewegung beſchaffen ſey, iſt folglich nichts weniger als unwichtig, ſondern es hängt davon unſere einzige Ausſicht ab, zu richtigen Schlüſſen über die Einrichtung des Weltalls zu gelangen.

15) Man finde es nicht ſonderbar, daß wir von einer Bewegung der Erde ſprechen, welche von den Bewohnern derſelben nicht bemerkt wird. Man erinnere ſich, daß wir von der Erde als einem Ganzen ſprechen, mit allem, was ſie in ſich, oder auf ihrer Oberfläche enthält; von einer Bewegung, welche der feſten Maſſe, dem Oceane, welcher dieſelbe umgiebt, der Luft, welche auf der Erde ruht, und den Wolken, welche über der Erde in der Luft ſchwimmen, gemeinſchaftlich iſt. Eine ſolche Bewegung, die keinen irdiſchen Gegenſtand von ſeiner relativen Stelle unter andern Gegenſtänden verrückt, keinen der natürlichen Pro-

ceſſe ſtört, und nicht die Empfindungen von Stößen oder Erſchütterungen zurückläßt, kann offenbar beſtehen, ohne von uns bemerkt zu werden. Es giebt kein eigenthümliches Gefühl, was uns benachrichtigt, daß wir uns in Bewegung befinden. Wir empfinden allerdings Erſchütterungen oder Stöße, weil dieſe plötzliche Veränderungen der Bewegung ſind, welche, wie uns die Geſetze der Mechanik lehren, durch plötzliche und mächtige Kräfte erzeugt werden, die während kurzer Zeiträume wirken; dieſe Kräfte nun, auf unſere Körper angewendet, ſind dasjenige, was wir empfinden. Wenn wir z. B. in einer zugemachten Kutſche, oder mit verſchloſſenen Augen fahren, (um keine äußern Gegenſtände gewahr zu werden), ſo ſpüren wir eine Erſchütterung, von den Unebenheiten des Weges herrührend, über welche das Fuhrwerk nach und nach ſteigt und fällt, aber wir haben keine Empfindung der Fortbewegung. Iſt der Weg ebener, ſo empfinden wir weniger von der Bewegung, obſchon die Geſchwindigkeit derſelben zugenommen hat. Wer auf der berühmten Eiſenbahn zwiſchen Mancheſter und Liverpool gereiſet iſt, verſichert, daß außer dem Getöſe des Wagenzuges und der Geſchwindigkeit, mit welcher äußere Gegenſtände vorüber zu fliegen ſcheinen, man faſt keine andere Empfindung, als diejenige vollſtändiger Ruhe, habe.

16) Aber an Bord eines Schiffes, wo ein großes Körperſyſtem in Bewegung erhalten wird, und wo wir von einer Menge von Gegenſtänden umgeben ſind, die mit uns ſelbſt, ſo wie auch mit einander an der gemeinſchaftlichen Fortbewegung der ganzen Maſſe Theil nehmen, empfinden wir auf eine höchſt genügende Weiſe die Identität des Gefühles zwiſchen einem Zuſtande der Bewegung und einem Zuſtande der Ruhe. In der Cajüte eines großen und ſchweren Schiffes, welches vor dem Winde bei ruhiger See ſanft dahingeht, oder einen Kanal entlang gezogen wird, giebt es nicht die kleinſte Anzeige, die uns den Weg verräth, den es einſchlägt. Wir leſen, ſitzen, gehen und verrichten jede gewöhnliche Handlung, als ob wir auf dem Lande wä-

ren. Werfen wir einen Ball in die Luft, ſo kehrt er in unſere Hand zurück; oder, laſſen wir ihn fallen, ſo fällt er vor unſern Füßen nieder. Inſekten umſchwirren uns, wie in der freien Luft; und der Rauch ſteigt auf dieſelbe Weiſe empor, wie in einem Zimmer auf dem Lande. Kommen wir aber aufs Verdeck, ſo ändert ſich die Sache in mancher Hinſicht; da die Luft ſich nicht mit uns fortbewegt, ſo treibt ſie den Rauch und andere leichte Körper — wie z. B. frei gelaſſene Federn — fort, und ſcheinbar in der dem Schiffslaufe entgegengeſetzten Richtung; in der That aber bleiben ſie im Zuſtande der Ruhe, und wir laſſen ſie nur in der Luft zurück. Immer noch bleibt die Täuſchung, in ſo weit ſie maſſive Gegenſtände und unſere eigenen Bewegungen betrifft, vollſtändig; und wenn wir unſern Blick aufs Ufer richten, ſo bemerken wir dann die Wirkung unſerer eigenen Bewegung, in entgegengeſetzter Richtung auf äußere Gegenſtände übergetragen (äußere nämlich in Bezug auf den Inbegriff, von welchem wir einen Theil ausmachen).

„Provehimur portu, terraeque urbesque recedunt.“

17) Aeußere Gegenſtände, welche ſich in Ruhe befinden, ſcheinen nicht allein in Bezug auf uns im Allgemeinen in Bewegung zu ſeyn, wenn wir uns unter ihnen in Bewegung befinden, ſondern ſie ſcheinen ſich auch unter einander zu bewegen, — ſie verändern ihre ſcheinbaren Orte zu einander. Wenn jemand ſehr geſchwind auf einer Landſtraße fährt, und mit ſeinen Augen einen Gegenſtand fixirt, zu gleicher Zeit aber ſeine Aufmerkſamkeit der ganzen Landſchaft nicht gänzlich entzieht, ſo wird er die ganze Landſchaft in kreisförmiger Bewegung um den fixirten Gegenſtand, als einen Mittelpunkt, erblicken, oder zu erblicken glauben; alle Gegenſtände zwiſchen dieſem Gegenſtand und ihm ſelbſt ſcheinen ſich rückwärts zu bewegen, oder die ſeiner eigenen Richtung entgegengeſetzte zu verfolgen; und alle Gegenſtände jenſeits des fixirten Gegenſtandes ſcheinen ſich vorwärts, oder mit dem Reiſenden in gleicher Richtung zu bewegen. Sobald er aber

ſtatt jenes Gegenſtandes einen andern, z. B. einen nähern, fixirt, ſo verändert ſich auch unmittelbar die Erſcheinung der rotirenden Bewegung; und der ſcheinbare Mittelpunkt, um welchen dieſer täuſchende Kreislauf erfolgt, iſt auf den neuen Gegenſtand übergetragen, der für den Augenblick im Zuſtande der Ruhe erſcheint. Dieſe ſcheinbare Veränderung der Stellung der Gegenſtände in Bezug zu einander, welche von der Bewegung des Beobachters herrührt, heißt die parallactiſche Bewegung; und es leuchtet deshalb von ſelbſt ein, daß, ehe man ausmitteln kann, ob äußere Gegenſtände ſich wirklich in Bewegung befinden, oder nicht, oder von welcher Beſchaffenheit ihre Bewegungen ſind, man jede parallactiſche Bewegung, die vorhanden iſt, in Abzug oder in Anſchlag bringen müſſe.

18) Um uns übrigens die Erde als in Bewegung vorzuſtellen, müſſen wir uns erſt von ihrer Geſtalt und Größe einen Begriff machen. Nun kann ein Gegenſtand nicht Geſtalt und Größe haben, ohne von allen Seiten von einem beſtimmten Umriſſe begrenzt zu ſeyn, ſo daß wir denſelben uns wenigſtens außer Verbindung mit andern Körpern, und iſolirt im Raume, vorſtellen können. Der erſte rohe Begriff, den wir von der Erde bekommen, iſt derjenige einer ebenen Oberfläche von unendlicher Ausdehnung nach allen Richtungen von der Stelle aus, wo wir ſtehen, und über derſelben Luft und Himmel, unter derſelben, bis zu unendlicher Tiefe, feſte Maſſe. Dieſes iſt ein Vorurtheil, was wir gleich jenem, daß die Erde unbeweglich ſey, beſeitigen müſſen; aber wir können daſſelbe weit leichter beſeitigen, da es nur aus unſerer eigenen Geiſtesunthätigkeit entſprungen iſt (indem wir uns nicht gefragt haben, wo wir einem Gegenſtande Grenzen ſetzen wollen, den wir von Kindheit an als unermeßlich groß zu betrachten gewohnt ſind), und nicht, gleich jenem, aus dem Zeugniß unſerer falſch gedeuteten Sinne. Das directe Zeugniß unſerer Sinne iſt vielmehr ein ganz entgegengeſetztes. Wenn wir die Sonne des Abends in Weſten untergehen und in Oſten wieder aufgehen ſehen,

ſo müßten wir; da wir nicht zweifeln können, daß es die nämliche Sonne ſey, welche wir nach temporärer Abweſenheit wieder ſehen, allen unſeren Begriffen von feſtem Stoffe Gewalt anthun, um anzunehmen, ſie habe ihren Weg durch die Subſtanz der Erde genommen. Sie muß deshalb unter derſelben weggegangen ſeyn, und zwar nicht bloß durch einen unterirdiſchen Kanal; denn, wenn wir genau Achtung geben, auf die Punkte, wo ſie viele Tage nach einander, oder ein ganzes Jahr hindurch, untergeht und aufgeht, ſo werden wir finden, daß ſich dieſelben um eine ſehr große Strecke des Horizontes herum beſtändig verändern; und außerdem gehen der Mond und die Sterne auch in allen Punkten des ſcheinbaren Horizontes auf und unter. Die Schlußfolgerung iſt ganz einfach: die Erde kann nicht niederwärts unendlich an Tiefe zunehmen, auch nicht nach den Seiten hin von unendlicher Ausbreitung ſeyn; ſie muß nicht nur in horizontaler Richtung Grenzen, ſondern auch eine untere Seite haben, um welche die Sonne, der Mond und die Sterne ihren Weg nehmen können; und dieſe Seite muß wenigſtens dem, was wir ſehen, in ſo weit gleich ſeyn, daß ſie einen Himmel und Sonnenſchein, auch Tag hat, wenn es bei uns Nacht iſt, und ſo umgekehrt; wohin, mit einem Worte,

— „redit a nobis Aurora, diemque reducit.
Nosque ubi primus equis oriens afflavit anhelis,
Illic sera rubens accendit lumina Vesper.“

Georg.

19) Sobald wir uns mit dem Begriff einer Erde ohne Grundlagen, oder feſte Stützen, vertraut gemacht haben, die im Raume von der Berührung jedes äußern Gegenſtandes iſolirt exiſtirt, ſo wird es leicht, uns dieſelbe in Bewegung vorzuſtellen, oder vielmehr ſchwierig, uns dieſelbe anders vorzuſtellen; denn, da nichts vorhanden iſt, welches ſie an einem Orte zurückhalten kann, ſo muß ſie, ſobald es Urſachen der Bewegung giebt, oder Kräfte auf ſie einwirken, dem Antriebe derſelben folgen. Wir wollen nun die ein-

leuchtenden Umſtände kennen lernen, die uns zu einer Kenntniß der Geſtalt der Erde verhelfen.

20) Zuerſt wollen wir unterſuchen, was man von ihrer Geſtalt wirklich ſehen kann. Auf dem Lande können wir allerdings nichts von der allgemeinen Geſtalt der Erde erkennen, wir müßten uns denn auf ungewöhnlich ebenen und ausgebreiteten Flächen befinden. Die Berge, Bäume und andere Gegenſtände, welche die Oberfläche der Erde uneben machen, und die Linie des Horizontes unterbrechen und erhöhen, ſind, obwohl ſie offenbar in einem höchſt kleinen Verhältniſſe zur ganzen Erde ſtehen, doch in Bezug auf uns ſelbſt und die kleine Portion der Erde, die wir mit einemmale überſehen können, noch zu beträchtlich, als daß wir aus der Geſtalt eines ſo verunſtalteten Theiles ein Urtheil über diejenige der ganzen Erde zu fällen im Stande wären. Aber mit der Oberfläche des Meeres, oder einer außerordentlich ausgebreiteten ebenen Fläche, verhält es ſich anders. Wenn wir zu Schiffe das Land verlaſſen, bis es uns gänzlich aus den Augen verſchwunden iſt, und entweder auf dem Verdeck des Schiffes ſtehen, oder in den Maſtkorb ſteigen, ſo werden wir immer die Oberfläche des Meeres, nicht in Entfernung und Nebel verſchwindend, ſondern von einer ſcharfen, hellen und deutlichen Linie, dem ſogenannten Meerhorizonte, begrenzt erblicken, der uns ringsum in einem Kreiſe umgiebt, in deſſen Mittelpunkt unſer Standort fällt. Daß dieſe Linie wirklich ein Kreis ſey, ſchließen wir erſtens aus der vollkommenen ſcheinbaren Aehnlichkeit aller ſeiner Theile, zweitens aus dem Umſtande, daß alle ſeine Theile gleichweit von uns entfernt zu liegen ſcheinen, und zwar offenbar in mäßiger Entfernung; und drittens daraus, daß der ſcheinbare Durchmeſſer deſſelben, mit einem Inſtrumente, dem ſogenannten Depreſſions-Sector, gemeſſen, ſich immer gleich bleibt (ausgenommen bei einigen einzelnen atmoſphäriſchen Umſtänden, welche eine temporäre Verzerrung der Peripherie hervorbringen), in welcher Richtung derſelbe auch gemeſſen werden mag. Dergleichen Eigenſchaften gehören aber unter den geometriſchen Fi-

guren nur dem Kreiſe an. Erſteigen wir auf einer Ebene eine beträchtliche Höhe (z. B. eine der ägyptiſchen Pyramiden), ſo iſt auch dieſes ausreichend.

21) Schiffsmaſte und von Menſchen aufgeführte Gebäude ſind indeſſen im Vergleiche mit dem, was die Natur ſelbſt darbietet, unbedeutende Höhen. Der Aetna, der Pik von Teneriffa, der Mowna Roa ſind Höhen, von welchen aus ein nicht geringer Theil der Erdoberfläche überſehen werden kann; aber auch von dieſen Höhen — nämlich in den wenigen und ſeltenen Fällen, wo die Durchſichtigkeit der Luft die wirkliche Grenze des Horizontes, den eigentlichen Meereshorizont, zu ſehen geſtattet — nimmt man ganz dieſelben Erſcheinungen wahr, jedoch mit dem merkwürdigen Nebenumſtande, daß der Winkeldurchmeſſer der ſichtbaren Fläche, mit dem Depreſſions-Sector gemeſſen, beträchtlich kleiner iſt, als wenn man ihn von einem niederern Standpunkte aus mißt, oder mit andern Worten, daß die ſcheinbare Größe der Erde merklich abnimmt, je mehr wir uns von ihrer Oberfläche entfernen, während doch die abſolute Quantität derſelben, die wir auf einmal überſchauen, zugenommen hat.

22) Dieſelben Erſcheinungen werden auf jedem Theile der bis jetzt von Menſchen beſuchten Erdoberfläche durchgängig wahrgenommen. Nun kann aber ein Körper, der, wo man ihn nur betrachten mag, immer kreisförmig erſcheint, keine andere Geſtalt, als diejenige einer Kugel, haben.

23) Eine Figur ſoll dieſes erläutern. Wir wollen annehmen, die Kugel L H N Q (Fig. 1.) ſtelle die Erde dar, der Mittelpunkt derſelben ſoll in C, und bei A, G und M die Standpunkte in verſchiedenen Höhen über verſchiedenen Punkten ihrer Oberfläche ſeyn, die wir mit a, g, m bezeichnen wollen. Von jedem dieſer Standpunkte ziehe man, wie z. B. von M, eine Linie M N n, welche bei N eine Tangente der Oberfläche iſt, ſo wird dieſe Linie den Sehſtrahl bezeichnen, in deſſen Richtung der Beobachter bei M den ſcheinbaren Horizont erblickt; und da dieſe Tangente ſich rings um M herumdreht, und nach

und nach die Lagen MOo, MPp, MQq einnimmt, ſo wird der Berührungspunkt N auf der Oberfläche der Kugel den Kreis NOPQ beſchreiben. Der Flächeninhalt dieſes Kreiſes iſt der für den Beobachter bei M ſichtbare Theil der Erdoberfläche, und der Winkel NMQ, welcher von den beiden äußerſten Sehſtrahlen eingeſchloſſen wird, iſt das Maaß ſeines ſcheinbaren Winkeldurchmeſſers. Wenn wir für jetzt die Wirkung der Strahlenbrechung in der unter M befindlichen Luft ganz bei Seite ſetzen (wovon weiter unten die Rede seyn wird), die immer dazu beiträgt, dieſen Winkel etwas zu vergrößern, oder ihn ſtumpfer zu machen, ſo iſt dieſes der Winkel, der mit dem Depreſſions-Sector gemeſſen wird. Nun iſt es einleuchtend, 1) daß, je höher der Punkt M über m, dem unmittelbar unter erſterem auf der Kugel liegenden Punkte, erhaben iſt, um deſto größer auch die ſichtbare Fläche, nämlich das Kugelſegment oder der Abſchnitt NOPQ ſeyn müſſe; 2) daß die Entfernung des ſcheinbaren Horizontes*), oder der Grenze, welche unſer Auge erblickt, nämlich die Linie MN, zunimmt; und 3) daß der Winkel NMQ weniger ſtumpf wird, oder mit andern Worten, daß der ſcheinbare Winkeldurchmeſſer der Erde abnimmt, der nirgends den Betrag von zwei rechten Winkeln oder 180° erreicht, ſondern um eine merkliche Größe geringer ausfällt, und zwar um ſo geringer, je höher wir den Standort nehmen. Die Figur giebt drei Standpunkte von verſchiedener Höhe, ſammt dem, einem jeden entſprechenden Horizonte ꝛc., und ſchon ein Blick darauf genügt, um unſere Meinung aufzufaſſen. Wir wollen uns jetzt auf den größern und mehr in die Augen fallenden Horizont MNOPQ beſchränken, und der Leſer ſtelle ſich nNM und MQq als die beiden Schenkel eines bei M durch ein Gelenk verbundenen, und von der dazwiſchen liegenden Kugel NmQ auseinander gehaltenen Richtſcheites vor. Es liegt nun auf der Hand, daß, wenn das Gelenk M ge-

*) Ὁριζω, ich begrenze.

gen die Oberfläche hin gedrückt wird, die Schenkel ſich öffnen, und das Richtſcheit immer mehr einer geraden Linie ſich nähern müſſe, jedoch vollſtändige Geradlinigkeit nicht eher erreichen werde, als bis M mit der Oberfläche der Kugel bei m in vollkommener Berührung ſteht; in dieſem Falle wird die ganze Länge der beiden Schenkel bei m eine Tangente der Kugel bilden, wie die Linie x y.

24) Dieſes erklärt, was unter Depreſſion des Horizontes zu verſtehen iſt. Die Linie M m, welche bei m auf die allgemeine Oberfläche der Kugel ſenkrecht fällt, iſt auch die Richtung, in welcher ein Bleiloth*) hängt; denn es iſt eine beobachtete Thatſache, daß in allen Lagen, an jedem Theile der Erde, die Richtung eines Bleilothes vollkommen perpendikulär zur Oberfläche des ruhigen Waſſers iſt, und daß ſie ferner auch vollkommen perpendikulär auf eine Linie oder Fläche fällt, welche mittelſt einer Weingeiſtlibelle**) gehörig adjuſtirt iſt. Angenommen nun, daß wir auf unſerm Standpunkte M eine Linie (z. B. ein hölzernes Richtſcheit) mittelſt einer Weingeiſtlibelle vollkommen genau adjuſtirt hätten, ſo wird, wenn wir uns die Richtung dieſer Linie auf beiden Seiten unendlich verlängert denken, wie z. B. XMY, die ſo entſtandene Linie mit M m rechte Winkel bilden, und deßhalb der Linie x m y, als der Tangente der Kugel bei m, parallel ſeyn. Ein Beobachter in M wird deßhalb nicht allein das ganze Himmelsgewölbe XZY über dieſer Linie, ſondern auch diejenige Portion oder Zone deſſelben ſehen, welche zwiſchen X N und Y Q liegt; mit anderen Worten, ſein Himmel wird um die Zone YQXN mehr, als eine Halbkugel ſeyn. Die Winkelbreite dieſer überſchüſſigen Zone, nämlich der Winkel YMQ, iſt es nun, um welchen der ſichtbare oder ſcheinbare Horizont unter die Richtung einer Weingeiſtlibelle deprimirt erſcheint, und dieſen Winkel nennt

---

*) Siehe die Beſchreibung deſſelben in Cap. II.
**) Siehe die Beſchreibung dieſes Inſtruments im II. Cap.

man die Depreſſion des Horizontes. Sie iſt in der nautiſchen Aſtronomie eine beſtändig in Anwendung zu bringende Correction.

25) Aus den vorhin gegebenen Erläuterungen ergiebt ſich 1), daß die allgemeine Geſtalt der Erde (ſo weit ſie ſich aus dieſer Art der Beobachtung auffaſſen läßt) diejenige einer Kugel iſt. Dabei iſt auch die Geſtalt des Meeres mit eingeſchloſſen, welches, ſo weit es ſich ausbreitet, die Unebenheiten und örtlichen Unregelmäßigkeiten, die auf dem Lande ſtattfinden, bedeckt und ausfüllt; letztere können jedoch nur als geringfügige Abweichungen vom allgemeinen Umriſſe der ganzen Maſſe betrachtet werden, ſo wie wir eine Orange, trotz der Unebenheiten ihrer Schale, dennoch als rund betrachten. 2) Daß die Grenzlinie des ſichtbaren Horizontes, oder des Meerhorizontes, eine Folge der Krümmung der Erdoberfläche iſt, und nicht von der Unfähigkeit des Auges, Gegenſtände auf eine größere Entfernung zu verfolgen, oder von atmoſphäriſcher Undeutlichkeit herrührt. Es wird der Mühe werth ſeyn, den auf dieſe Weiſe erlangten allgemeinen Begriff in einigen ſeiner Folgerungen näher zu beleuchten, woraus ſich ergeben wird, daß er ſich mit Beobachtungen anderer Art, und nach einem größern Maaßſtabe angeſtellt, verträgt, und daß wir dadurch eine klare Vorſtellung der Art und Weiſe erlangen, wie ſich die Theile der Erde zu einander verhalten, und als ein Ganzes zuſammengehalten werden.

26) Wer nur einige Zeit auf der See geweſen iſt, weiß recht gut, daß man Gegenſtände jenſeits des Meerhorizontes, oder des ſcheinbaren Horizontes, ganz deutlich erkennen kann, jedoch nicht das Ganze derſelben, ſondern nur die oberen Theile. Ihre Baſen, auf welchen ſie ruhen, und die ſich über das Waſſer erheben, werden dem Auge durch die ſphäriſche Oberfläche des Meeres verdeckt, welche zwiſchen ihnen und uns ſich erhebt. Wir wollen z. B. annehmen, es ſegle ein Schiff direct von unſerm Standpunkte ab; — anfangs, wo die Entfernung des Schiffes klein iſt, wird ein Beobachter S, der ſeinen Standpunkt in einer gewiſſen

Höhe über dem Meeresſpiegel hat, das ganze Schiff ſehen, ſelbſt bis zum Waſſerſpiegel, wie bei A (Fig. 2.), wo es auf der See ruht. Wenn es ſich entfernt, ſo nimmt es allerdings an ſcheinbarer Größe ab, aber noch immer ſieht man das Ganze bis hinab zum Waſſerſpiegel, bis es endlich den ſcheinbaren Horizont bei B erreicht. Sobald es aber über dieſe Entfernung hinaus iſt, nimmt nicht allein der ſichtbare Theil an ſcheinbarer Größe immer mehr ab, ſondern der Rumpf beginnt gänzlich zu verſchwinden, als ob er unter die Meeresfläche geſunken ſey.

Nachdem es eine gewiſſe Entfernung, wie bei C, erreicht hat, iſt ſein Rumpf gänzlich verſchwunden, und nur die Maſte und Segel ſind noch ſichtbar, indem ſie die Erſcheinung c darbieten. Aber wenn der Beobachter bei dieſer Lage der Dinge raſch einen höhern Standort T erſteigt, deſſen ſcheinbarer Horizont bei D iſt, ſo bekommt er den Rumpf abermal zu Geſicht, und verliert ihn aus dem Geſichte, wenn er von dieſem Standorte wieder herabſteigt. Indem ſich das Schiff immer weiter entfernt, ſcheinen die untern Segel, wie bei d, unter das Waſſer zu ſinken, und endlich verſchwindet das ganze Schiff, während doch die Deutlichkeit, mit welcher die letzte Portion des Segels d geſehen wird, von der Art iſt, um uns die Ueberzeugung zu geben, daß, läge nicht das Segment des Meeres A B C D E dazwiſchen, die Entfernung T E keineswegs ſo groß ſey, um eine gleich vollkommene Anſicht des Ganzen zu verhindern.

27) Könnten wir deshalb die Höhen und die Entfernung zweier Standpunkte genau meſſen, die über dem Rande des Horizontes eben noch gegenſeitig zu erkennen ſind, ſo könnten wir auf dieſe Weiſe die wirkliche Größe der Erde ſelbſt beſtimmen; und dieſes wäre in der That ein ziemlich gutes Verfahren, die Größe der Erdkugel auszumitteln, wenn wir nicht die Wirkung der Strahlenbrechung hätten, durch welche wir im Stande ſind, in geringem Grade über das zwiſchenliegende Segment hinaus zu ſehen (wie nachher erklärt werden ſoll.) Wir wollen A und B (Fig. 3.) als zwei hohe

Standpunkte annehmen, deren ſenkrechte Höhen Aa und Bb (die wir der Einfachheit halber als einander ganz gleich annehmen wollen) bekannt ſind, und eben ſo auch durch Meſſung ihr horizontaler Zwiſchenraum a D b, ſo liegt es auf der Hand, daß D, der ſcheinbare Horizont beider, gerade halben Weges zwiſchen ihnen zu liegen kommt; und betrachten wir a D b als die Erdkugel und C als den Mittelpunkt derſelben, ſo kennen wir in der Figur C D b B, erſtlich D b, die Länge des Kreisbogens zwiſchen D und b (nämlich die Hälfte des gemeſſenen Zwiſchenraumes), und ferner b B, den Ueberſchuß ſeiner Secante über ſeinen Radius (was die Höhe von B iſt): Angaben, welche durch die Löſung eines leichten geometriſchen Problems uns in den Stand ſetzen, die Länge des Radius D C zu finden. Wenn wir, wie es wirklich der Fall iſt, beide Höhen, ſo wie die Entfernung der Standpunkte, für unbeträchtlich im Vergleiche zur Größe der Erde halten, ſo iſt die erwähnte Auflöſung im folgenden Satze enthalten: —

Der Durchmeſſer der Erde verhält ſich zur Entfernung des ſcheinbaren Horizontes vom Auge eben ſo, wie dieſe Entfernung zur Höhe des Auges über dem Meeresſpiegel.

Wenn die Standpunkte von ungleicher Höhe ſind, ſo wird das Problem etwas verwickelter.

28) Obgleich dieſes, wie bemerkt worden iſt, wegen der Wirkung der Strahlenbrechung, kein genaues Verfahren iſt, die Dimenſionen der Erde auszumitteln, ſo iſt es doch ausreichend, eine ſolche Annäherung zu gewähren, die für den gegenwärtigen Stand der Kenntniſſe des Leſers brauchbar iſt, und ihm zu manchen richtigen Vorſtellungen verhilft, weßhalb wir die Anwendung deſſelben durch Zahlen erläutern wollen. Nun ergiebt ſich durch Beobachtung, daß zwei Punkte, von denen jeder zehn Fuß über die Oberfläche ragt, aufhören, über ruhigem Waſſer und bei mittleren atmosphäriſchen Zuſtänden, gegenſeitig ſichtbar zu ſeyn in einer Entfernung von etwa acht (engliſchen) Meilen. Aber zehn Fuß machen den 528ſten Theil einer Meile, ſo daß ihre halbe Entfernung, oder 4 Meilen, ſich zur

Höhe eines jeden wie 4 × 528 oder 2112 zu 1 verhält, und deshalb ſteht die Länge des Erddurchmeſſers in demſelben Verhältniſſe zu 4 Meilen. Er muß deshalb gleich ſeyn 4 × 2112 = 8448 oder in runden Zahlen ungefähr 8000 Meilen, was ſich von der Wahrheit nicht ſehr weit entfernt.

29) Dieſes iſt das erſte rohe Ergebniß eines Verſuches, die Größe der Erde zu beſtimmen; und es wird nicht übel ſeyn, wenn wir es benutzen, um es mit Gegenſtänden zu vergleichen, die wir gewohnt geweſen ſind, als ungeheuer groß zu betrachten, indem wir dadurch einige Stufen zwiſchen dieſes Reſultat und unſere gewöhnlichen Begriffe von Dimenſion bringen. Wir haben früher die Unebenheiten, welche Berge, Thäler, Gebäude u. ſ. w. auf der Erdoberfläche bilden, mit den Unebenheiten auf der Rinde einer Orange, im Verhältniſſe zu ihrer ganzen Maſſe, verglichen. Dieſe Vergleichung iſt ganz frei von Uebertreibung. Der höchſte bekannte Berg hat nicht über 5 Meilen ſenkrechte Höhe, und dieſes iſt nur der 1600ſte Theil des Erddurchmeſſers: folglich würde auf einer Kugel von 16 Zoll Durchmeſſer ein ſolcher Berg dargeſtellt werden müſſen durch eine Hervorragung von nicht mehr, als $^1/_{100}$ Zoll, was ungefähr die Stärke des gewöhnlichen Zeichenpapieres zu ſeyn pflegt. Da nun kein ganzes Feſtland, oder auch nur ein ausgedehnter Landſtrich bekannt iſt, deſſen allgemeine Elevation über dem Meeresſpiegel der Hälfte dieſer Quantität nahe kommt, ſo folgt daraus, daß, wenn wir ein richtiges Modell unſerer Erde mit ihren Meeren, Feſtländern und Bergen auf einer Kugel von 16 Zoll Durchmeſſer conſtruiren wollen, das ganze Land, mit Ausnahme einiger vorragender Gipfel und Bergrücken, innerhalb der Dicke von dünnem Schreibpapier ſeine Grenzen finden müßte, und daß die höchſten Berge durch die kleinſten ſichtbaren Sandkörner dargeſtellt werden würden.

30) Das tiefſte uns bekannte Bergwerk iſt noch nicht eine halbe Meile unter die Oberfläche der Erde gedrungen, und ein Rißchen, oder ein Nadelſtich, welcher es auf der Oberfläche einer ſolchen Kugel, wie

unſer Modell, richtig darſtellen wollte, würde ohne ein Vergrößerungsglas unbemerkbar bleiben.

31) Die größte Tiefe des Meeres dürfte die größte Höhe der Feſtländer nicht ſehr übertreffen, und müßte folglich durch eine Vertiefung in der Subſtanz der Kugel von etwa demſelben Verhältniſſe dargeſtellt werden, ſo daß der Ocean bloß als ein flüſſiges Häutchen gedacht werden muß, wie es etwa ein in Farbe getauchter Pinſel, der über diejenigen Theile bewegt wird, welche das Meer darſtellen ſollen, auf unſerm Modell zurücklaſſen würde. Nur dürfen wir nicht vergeſſen, daß die Aehnlichkeit, wenn wir den Gegenſtand ſo auffaſſen, ſich nicht weiter erſtreckt, als auf das quantitative Verhältniß. Die mechaniſchen Geſetze, welche die Vertheilung und die Bewegungen eines ſolchen Häutchens, ſo wie ſeine Adhäſion an der Oberfläche, reguliren, ſind ganz verſchieden von denen, von welchen die Erſcheinungen des Meeres abhängig ſind.

32) Die größte Ausbreitung der Erdoberfläche endlich, welche je ein menſchliches Auge überblickt hat, war diejenige, welche dem Geſichtskreiſe der Herren Biot und Gay Luſſac bei ihrer berühmten Luftfahrt bis zu der enormen Höhe von 25,000 Fuß, oder etwas weniger als 5 Meilen, aufgeſchloſſen war. Um das Verhältniß des aus dieſer Höhe ſichtbaren Areales zur ganzen Oberfläche der Erde zu veranſchlagen, müſſen wir zur ſphäriſchen Geometrie unſere Zuflucht nehmen, die uns lehrt, daß die convexe Oberfläche eines Kugelſegmentes zur ganzen Oberfläche der Kugel, welcher es angehört, ſich verhält, wie der sinus versus, oder die Dicke des Segmentes, zum Durchmeſſer der Kugel; und ferner, daß dieſe Dicke in dem vorliegenden Falle faſt genau der ſenkrechten Höhe des Geſichtspunktes über der Oberfläche gleich iſt. Das Verhältniß des ſichtbaren Areales zur ganzen Oberfläche der Erde iſt deßhalb in dieſem Falle wie 5 Meilen zu 8000, oder wie 1 zu 1600. Die vom Aetna, Pik von Teneriffa, oder dem Mowna Roa ſichtbare Portion der Erdoberfläche beträgt ungefähr $^1/_{4000}$.

33) Wenn wir in einem Luftballon, oder an einem Gebirge, eine ſehr beträchtliche Höhe über der Oberfläche der Erde erſteigen, ſo machen wir durch mancherlei unbehagliche Empfindungen die Entdeckung, daß es an einem hinlänglichen Vorrathe von Luft fehlt. Das Barometer, ein Inſtrument, welches uns die Laſt der auf einer gegebenen horizontalen Oberfläche aufliegenden Luft kennen lehrt, beſtätigt dieſe Entdeckung, und gewährt ein directes Maas des Verhättniſſes der Abnahme der Quantität Luft, welche ein gegebener Raum in irgend einer Entfernung von der Erdoberfläche umfaßt. Aus den Anzeigen dieſes Inſtrumentes erfahren wir, daß, nachdem wir eine Höhe von 1000 Fuß erſtiegen haben, ungefähr der dreißigſte Theil der ganzen Maſſe der Atmoſphäre unter uns liegt; daß wir bei 10600 Fuß ſenkrechter Höhe (was noch etwas weniger als der Gipfel des Aetna *) iſt) etwa den dritten Theil der Atmoſphäre, und bei 18000 Fuß (was ziemlich die Höhe des Cotopaxi iſt) die Hälfte derſelben, oder wenigſtens der auf die Erdoberfläche drückenden Luftmaſſe, unter uns haben. Aus der Progreſſion dieſer Zahlen, wie auch a priori aus der Natur der Luft ſelbſt, die zuſammendrückbar iſt, d. h. ſich verdichten, oder im Verhältniße des angewendeten Druckes in einen kleinern Raum einſchließen läßt, kann man leicht abnehmen, daß, wenn gleich wir bei höherem Emporſteigen immer mehr und mehr Luft unter uns laſſen, und von dem Drucke, den dieſelbe auf uns ausübt, immer freier werden, dennoch der Betrag dieſer fortſchreitenden Erleichterung, oder der zurückgelaſſenen wägbaren Luftquantität, keineswegs zu den erreichten Höhen in ſtets gleichem Verhältniſſe bleibt, ſondern beſtändig abnimmt. Eine leichte Berechnung, die ſich auf unſere aus der Erfahrung geſchöpfte Kenntniß der Ei-

---

*) Die Höhe des Aetna über dem mittelländiſchen Meere beträgt nach den barometriſchen Meſſungen, die ich im Juli 1824 unter ſehr günſtigen Umſtänden angeſtellt habe, 10872 engliſche Fuß. Der Verfaſſer.

genſchaften der Luft, und auf die mechaniſchen Geſetze gründet, nach welchen ſie ausgedehnt und comprimirt wird, kann indeſſen zur Genüge zeigen, daß bei einer Höhe über der Erdoberfläche, welche noch nicht den hundertſten Theil ihres Durchmeſſers überſteigt, die Verdünnung der Luft ſo außerordentlich ſeyn müſſe, daß nicht nur weder thieriſches Leben in derſelben ſubſiſtiren, noch die Verbrennung unterhalten werden kann, ſondern daß auch die empfindlichſten Mittel, die wir beſitzen, um die Exiſtenz von etwas Luft überhaupt auszumitteln, nicht im Stande ſeyn können, die geringſten merkbaren Anzeichen ihrer Anweſenheit zu geben.

34) Wenn wir deshalb für jetzt alle ſpitzfindigen Fragen über die wahrſcheinliche Exiſtenz einer beſtimmten Grenze der Atmoſphäre, jenſeits welcher, abſolut und ſtreng genommen, keine Luft vorhanden iſt, ganz bei Seite ſetzen, ſo ergibt ſich von ſelbſt, daß wir diejenigen Regionen, welche von der Erdoberfläche über den hundertſten Theil ihres Durchmeſſers entfernt ſind, für alle praktiſchen Zwecke als luftleer, und folglich als frei von Wolken, betrachten können, die weiter nichts, als ſichtbare, in der Luft verbreitete und ſchwimmende und von derſelben getragene Dünſte ſind, welche die Luft ſo trübe machen, wie der Schlamm das Waſſer. Aus manchen Indicationen ſcheint ſich mit Wahrſcheinlichkeit zu ergeben, daß die größte Höhe, in welcher ſichtbare Wolken jemals exiſtiren, nicht über 10 Meilen beträgt; und in dieſer Höhe beſitzt die Luft ungefähr den achten Theil der Dichtigkeit, die ſie am Meeresſpiegel hat.

35) Wir ſind auf dieſe Weiſe veranlaßt worden, die Atmoſphäre ſammt den Wolken, welche ſie trägt, als eine Hülle von gleicher oder ziemlich gleicher Dicke zu betrachten, von der unſere Erde auf allen Seiten umgeben wird, oder vielmehr als einen Luftocean, deſſen Bette die Oberfläche des Meeres und des Landes bildet, und deſſen untere Theile oder Schichten, bis auf einige Meilen von der Erde entfernt, bei weitem den größern Theil der ganzen Maſſe enthalten, ſo daß die Dichtigkeit außerordentlich raſch abnimmt, jemehr

man ſich von der Erdoberfläche entfernt, bis endlich in einer ſehr mäßigen Entfernung (die auf dem früher erwähnten Modell durch $1/6$ Zoll ausgedrückt werden müßte, und die ſich zur Erdkugel etwa verhält, wie die mit zartem Flaum beſetzte Haut einer Pfirſche zur Frucht, welche ſie umkleidet) alle merkbare Spur von der Anweſenheit der Luft verſchwindet.

36) Es fehlt indeſſen nicht an Argumenten, um es, wenn auch nicht abſolut gewiß, doch wenigſtens in ſehr hohem Grade wahrſcheinlich zu machen, daß die Oberfläche des Luftoceans, gleich derjenigen des Waſſeroceanes, eine wirkliche und beſtimmte Grenze habe, wie oben angedeutet worden iſt, jenſeits welcher poſitiv keine Luft ſich befindet, und über welcher eine friſche Quantität Luft, wenn ſie von außen zugetragen, oder von unten emporgeführt werden könnte, ſtatt ſich ins Unendliche nach oben auszudehnen, nach einer gewiſſen, ganz außerordentlichen, aber immer beſtimmten Ausbreitung ihres Volumens, wieder zurückſinken und untertauchen würde, wie in's Meer gegoſſenes Waſſer, um ſich alsdann unter die untere Maſſe zu vertheilen. Mit der Wahrheit dieſer Folgerung hat indeſſen die Aſtronomie wenig zu ſchaffen, denn alle Wirkungen der Atmoſphäre auf Modification der aſtronomiſchen Erſcheinungen bleiben ſich gleich, man mag dieſelbe von beſtimmter oder unbeſtimmter Ausdehnung annehmen.

37) Außerdem iſt es, welche Anſicht wir auch von der Extenſion der Atmoſphäre haben mögen, eben ſo gewiß, daß innerhalb derjenigen Grenzen, wo ſie eine merkbare Dichtigkeit beſitzt, ihre Beſchaffenheit über allen Punkten der Erdoberfläche ſich gleich bleibe, d. h. nämlich im Großen, und wenn man temporäre und örtliche Urſachen der Störung, wie z. B. Winde und große Schwankungen von der Natur der Wogen, welche in derſelben in unermeßlicher Ausdehnung herrſchend ſind, ganz unberückſichtigt läßt; alſo mit andern Worten, daß das Geſetz der Abnahme der Dichtigkeit der Luft, je weiter wir uns vom Meeresſpiegel entfernen, in jeder Luftſäule, in welche wir uns die Luft eingetheilt denken können, oder von jedem Punkte der

Oberfläche aus, ſich gleich bleibt. Man kann ſich deshalb die Luft als aus mehreren über einander gelagerten Schichten beſtehend denken, von denen jede die Geſtalt einer ſphäriſchen Hülſe beſitzt, und mit der allgemeinen Oberfläche von Meer und Land concentriſch iſt, und von denen jede auch verdünnter, oder ſpecifiſch leichter, als die unmittelbar vorhergehende, und dichter, oder ſpecifiſch ſchwerer, als die unmittelbar nachfolgende iſt. Dieſe Art der Vertheilung der wägbaren Luftmaſſe iſt eine nothwendige Folge der Geſetze des Gleichgewichtes der Flüſſigkeiten, und die Reſultate dieſer Geſetze ſtehen, wie ſich aus barometriſchen Beobachtungen ergiebt, in vollkommenem Einklange mit der Erfahrung.

Es muß indeſſen bemerkt werden, daß mit dieſer Vertheilung der atmoſphäriſchen Schichten die Unebenheiten von Bergen und Thälern nichts zu thun haben. Dieſe haben nicht mehr Einfluß auf Modification der allgemeinen ſphäriſchen Geſtalt der Atmoſphäre, als die Unebenheiten auf dem Grunde des Meeres den allgemeinen ſphäriſchen Character ſeiner Oberfläche aufheben.

38) Die Eigenſchaft, welche die Luft gemeinſchaftlich mit allen durchſichtigen Mitteln beſitzt, die Lichtſtrahlen zu brechen, oder ſie von ihrer geraden Richtung abzulenken, macht eine nähere Kenntniß der Beſchaffenheit der Atmoſphäre für den Aſtronomen wichtig. Vermöge dieſer Eigenſchaft erſcheinen Gegenſtände, welche man in ſchräger Richtung durch die Atmoſphäre erblickt, an einer andern Stelle, als ſie derſelbe Beobachter ſehen würde, wenn keine Atmoſphäre vorhanden wäre. Sie erzeugt alſo in unſerm Geiſte, in Bezug auf die Orte, der einzelnen Gegenſtände, einen falſchen Eindruck, der auf die Weiſe berichtigt werden muß, daß man den Betrag und die Richtung der ſo ſcheinbar bewirkten Verſetzung eines jeden ausmittelt, ehe man eine Kenntniß der wahren Richtungen erlangen kann, in welchen ſie von uns aus in irgend einem bezeichneten Momente ſich befinden müſſen.

39) Angenommen, ein Beobachter ſtehe in A, (Fig. 4.) einem Punkte der Erdoberfläche KAk, und Ll, Mm,

N n ſtellen die ſucceſſiven Schichten oder Lagen von abnehmender Dichtigkeit dar, in die wir uns die Atmoſphäre getheilt denken wollen, und welche ſphäriſche Oberflächen bilden, die mit K k, der Erdoberfläche, concentriſch ſind. S ſey ein Stern, oder ein anderer Himmelskörper jenſeits der äußerſten Grenze der Atmoſphäre. Wäre nun keine Luft vorhanden, ſo würde der Beobachter den Stern in der Richtung der geraden Linie A S ſehen. Wenn aber in der Wirklichkeit der Lichtſtrahl S A die Atmoſphäre erreicht, z. B. bei d, ſo wird er, den Geſetzen der Optik zufolge, ſich niederwärts zu krümmen beginnen, und eine geneigtere Richtung d c annehmen. Dieſe Krümmung wird anfangs, wegen der außerordentlichen Verdünnung der oberſten Schichten, unmerklich ſeyn; je mehr ſich aber der Strahl der Erde nähert, deſto größer wird die Brechung deſſelben in der nämlichen Richtung werden, indem die Luftſchichten beſtändig an Dichtigkeit zunehmen; und ſo wird er, ſtatt die gerade Linie S d A zu verfolgen, eine Curve S d c b a beſchreiben, die nach unten hin immer concaver wird, und er wird die Erde nicht bei A, ſondern bei einem gewiſſen, S näher liegenden Punkt a erreichen. Dieſer Strahl erreicht folglich nicht das Auge des Beobachters. Der Strahl, durch welchen er den Stern ſieht, iſt deshalb nicht S d A, ſondern ein anderer Strahl, welcher, wenn keine Atmoſphäre vorhanden wäre, die Erde bei K einem Punkte hinter dem Beobachter, erreicht haben würde, der aber, von der Luft zur Curve S D C B A gekrümmt, die Erde wirklich bei A erreicht. Nun iſt es ein Geſetz der Optik, daß ein Gegenſtand in der Richtung erblickt wird, welche der Sehſtrahl in dem Augenblicke beſitzt, wo er das Auge erreicht, ohne Rückſicht, von welcher Beſchaffenheit ſein Weg zwiſchen dem Gegenſtande und dem Auge ſonſt noch geweſen ſeyn möge. Der Stern S wird folglich nicht in der Richtung A S, ſondern in der Richtung A s, einer Tangente der Curve S D C B A bei A, erblickt. Aber weil die von dem gebrochenen Strahle beſchriebene Curve unten concav iſt, ſo liegt die Tangente A s über A S, dem unge-

brochenen Strahle, und der Himmelskörper S muß folglich höher über dem Horizonte AH, durch die brechende Atmoſphäre erblickt, erſcheinen, als er uns ohne eine ſolche Atmoſphäre erſcheinen würde. Da indeſſen die Anordnung der Luftſchichten in allen Richtungen um A dieſelbe iſt, ſo wird der Sehſtrahl nicht ſeitwärts abweichen, ſondern beſtändig in derſelben vertikalen Ebene SAC bleiben, welche man durch das Auge des Beobachters, den Himmelskörper und den Mittelpunkt der Erde legen kann.

40) Die Wirkung der Refraction der Luft beſteht alſo darin, alle Himmelskörper höher über dem Horizonte erſcheinen zu laſſen, als ſie wirklich ſtehen. Ein ſolcher Himmelskörper, der wirklich gerade im Horizonte ſteht, wird über demſelben erſcheinen, oder eine gewiſſe ſcheinbare Höhe haben (wie man es zu nennen pflegt). Ja ſelbſt manche von denen, die ſich wirklich unter dem Horizonte befinden, und deshalb, ohne die Wirkung der Strahlenbrechung, unſichtbar ſeyn würden, werden durch ſie über den Horizont gehoben und ſichtbar gemacht. Die Sonne z. B., wenn ſie bei P unter dem eigentlichen Horizonte AH des Beobachters ſteht, wird ihm ſichtbar, als wenn ſie bei p ſtände, und zwar durch den gebrochenen Strahl PqrtA, von welchem Ap die Tangente iſt.

41) Die genaue Beſtimmung des Betrages der atmoſphäriſchen Strahlenbrechung, oder die ſcharfe Beſtimmung des Winkels SAs, um welchen ein Himmelskörper in irgend einer gegebenen Höhe HAS über ſeinem wahren Orte erſcheint, iſt leider ein ſehr ſchwieriger Gegenſtand phyſiſcher Forſchung, über welchen ſich die Geometer, von denen allein einige Auskunft über dieſen Punkt zu erwarten iſt, noch nicht gänzlich vereinigt haben. Die Schwierigkeit rührt daher, daß die Dichtigkeit einer Luftſchichte (wovon ihre Strahlenberechungsfähigkeit abhängt) nicht blos auf dem Drucke der darüber liegenden Maſſe, ſondern auch auf ihrer Temperatur, oder dem Grade ihrer Wärme, beruht. Obgleich wir nun wiſſen, daß die Temperatur der Luft beſtändig abnimmt, je weiter wir uns von der

Oberfläche der Erde entfernen, ſo iſt doch das Geſetz oder der Betrag dieſer Abnahme in verſchiedenen Höhen noch nicht vollſtändig ausgemittelt. Außerdem wird die Refractionskraft der Luft merklich afficirt durch ihre Feuchtigkeit; und auch dieſe iſt ſich nicht in jedem Theile einer Luftſäule gleich, auch ſind wir nicht mit den Geſetzen der Vertheilung der Feuchtigkeit bekannt. Die Folge unſerer Unwiſſenheit in dieſen Punkten iſt ein entſprechender Grad von Unſicherheit in der Beſtimmung des Betrages der Refraction, welche auf unſere Kenntniß mehrerer der wichtigſten Data der Aſtronomie, bis zu einem gewiſſen merklichen Umfang, ihren Einfluß verbreitet. Die daraus hervorgehende Ungewißheit iſt indeſſen in ſo äußerſt enge Grenzen eingeſchloſſen, daß ſie für uns keine Urſache der Verlegenheit wird, außer etwa in den allerfeinſten Unterſuchungen, und daß ſie in einem Werke, wie das gegenwärtige, keiner weitern Erwähnung bedarf.

42) Eine Refractionstafel, wie man ſie zu nennen pflegt, oder eine Angabe des Betrages der ſcheinbaren, aus dieſer Urſache entſpringenden, Ortsveränderung, für alle Höhen, oder für jeden Stand eines Himmelskörpers vom Horizonte bis zum Zenith *) d. h. demjenigen Punkte des Himmels, der vertikal über dem Beobachter liegt, und für alle die Umſtände, unter welchen aſtronomiſche Beobachtungen gewöhnlich angeſtellt werden, und welche auf das Reſultat Einfluß haben, — iſt eine der wichtigſten und unentbehrlichſten aſtronomiſchen Tafeln; denn nur mittelſt einer ſolchen Tafel ſind wir im Stande, eine Täuſchung zu beſeitigen, die ſonſt alle unſere Begriffe von den Bewegungen der Himmelskörper verwirren müßte. Dergleichen Tafeln ſind deshalb mit großer Sorgfalt entworfen worden, und finden ſich in jeder Sammlung aſtronomiſcher Tafeln. **) Unſer Zweck bei dem gegenwärtigen Werke

---

*) Von einem arabiſchen Worte dieſer Bedeutung.

**) Siehe die „Requisite Tables to be used with the Nautical Almanac.“ Ferner auch Nautical Almanac for 1833; Dr. Pearson's Astronomical Tables, und Mr. Baily's Astronomical Tables and Formulae.

geſtattet nicht die Einführung von Tafeln, und wir müßen uns deshalb hier und in ähnlichen Fällen begnügen, den Leſer auf Werke zu verweiſen, welche eigends dazu beſtimmt ſind, dieſe nützliche Hülfe für die Rechnung zu gewähren. Es iſt indeſſen zu wünſchen, daß der Leſer folgende allgemeine Begriffe über den Betrag der Strahlenbrechung und das Geſetz der Veränderung derſelben im Gedächtniſſe behalte.

43) 1. Im Zenith findet keine Strahlenbrechung ſtatt; ein Himmelskörper, welcher ſenkrecht über unſerm Scheitel ſteht, wird, als ob keine Atmoſphäre vorhanren wäre, in ſeiner wahren Richtung erblickt.

2. Vom Zenith bis zum Horizonte herab nimmt die Strahlenbrechung beſtändig zu; Himmelskörper am Horizonte erſcheinen in Folge der Strahlenbrechung höher über ihrem eigentlichen Orte, als diejenigen, die in großer Höhe über dem Horizonte ſtehen.

3. Das Verhältniß der Zunahme der Strahlenbrechung iſt ziemlich nahe der Tangente des ſcheinbaren Winkelabſtandes des Himmelskörpers vom Zenith proportional. Aber dieſe Regel, die bei mäßigen Zenithabſtänden nicht ſehr von der Wahrheit abweicht, hört in der Nähe des Horizontes, wo das Geſetz der Zunahme in ſeinem Ausdrucke viel complicirter wird, auf, richtige Reſultate zu geben.

4. Der mittlere Betrag der Refraction für einen Himmelskörper gerade in der Mitte zwiſchen Zenith und Horizont, oder in einer ſcheinbaren Höhe von 45°, iſt ungefähr 1′ (genauer 57″), eine Quantität, welche fürs unbewaffnete Auge kaum bemerkbar iſt; aber am ſcheinbaren Horizonte beträgt ſie nicht weniger, als 33′, was etwas mehr, als der größte ſcheinbare Durchmeſſer der Sonne, oder des Mondes iſt. Daraus folgt, daß, wenn wir den untern Rand der Sonne, oder des Mondes ſcheinbar gerade auf dem Horizonte ruhend erblicken, die ganze Scheibe wirklich unter demſelben ſich befindet, und ganz außer unſerm Geſichtskreiſe liegen, und durch die Convexität der Erde, ohne die Beugung, welche die Lichtſtrahlen um letztere herum auf

ihrem Wege durch die Luft erfahren (wie Art. 40. erwähnt worden iſt), verborgen ſeyn würde.

44) Es folgt daraus, daß eine offenbare Wirkung der Strahlenbrechung darin beſtehen muß, die Dauer der Nacht und der Dunkelheit, durch wirkliche Verlängerung des Standes von Sonne und Mond über dem Horizonte, abzukürzen. Aber ſelbſt, nachdem ſie untergegangen ſind, dauert die Wirkung der Atmoſphäre, uns einen Theil ihres Lichtes zu ſenden, noch fort. Sie ſendet uns daſſelbe zwar nicht auf geradem Wege, ſondern durch Zurückwerfung von den Dünſten und kleinen feſten Theilchen, welche in denſelben ſchwimmen, und vielleicht auch durch Zurückwerfung von den eigentlichen Maſſentheilchen der Luft ſelbſt. Um zu begreifen, wie dieſes zugehe, müſſen wir uns erinnern, daß wir nicht allein durch das directe Licht eines leuchtenden Körpers ſehen, ſondern daß jeder Theil ſeines Lichtes, welcher nicht auf dieſe Weiſe unſere Augen erreicht, auf ſeinem Wege von allerhand Hinderniſſen aufgefangen, und zurück oder von der Seite her auf uns geworfen wird, wodurch er ebenfalls ein Mittel der Beleuchtung wird. Dergleichen zurückwerfende Hinderniſſe ſchwimmen nun beſtändig in der Luft. Der ganze Weg eines durch die Spalte eines Fenſterladens in ein dunkles Zimmer dringenden Sonnenſtrahles iſt als eine helle Linie in der Luft ſichtbar; und ſelbſt wenn er unterdrückt oder durch einen gegenüberliegenden Spalt wieder hinausgelaſſen wird, ſo iſt doch das durch dieſe Quelle verbreitete Licht hinreichend, um gänzliche Dunkelheit in dem Zimmer zu verhindern. Die hellen Linien, welche man zuweilen bei einem mit theilweiſe zerriſſenen Wolken bedeckten Himmel in der Luft wahrnimmt, welche Erſcheinung man gewöhnlich mit dem Ausdrucke zu bezeichnen pflegt, „die Sonne zieht Waſſer“, haben eine ähnliche Urſache. Es ſind Sonnenſtrahlen, welche ihren Weg durch Oeffnungen in den Wolken nehmen, und von dem Staub und den Dünſten der tiefern Luft aufgefangen und zurückgeworfen werden. So verhält es ſich auch mit denjenigen Sonnenſtrahlen, welche, nachdem die Sonne durch die Convexität der Erde ver-

borgen iſt, ihren Weg fortwährend durch die höhern Regionen der Atmoſphäre über unſerm Scheitel nehmen, ohne die Erde im Geringſten direct zu berühren. Ein Theil derſelben wird aufgefangen, von den oben erwähnten ſchwimmenden Theilchen reflectirt und zurück oder von der Seite her auf uns geworfen, ſo daß er auf dieſe Art uns erreicht, und uns jene ſecundäre Beleuchtung gewährt, welche wir Dämmerung nennen.

Der Weg ſolcher Strahlen wird aus Fig. 5 ganz deutlich werden, in welcher ABCD die Erde, A ein Punkt auf deren Oberfläche iſt, wo die Sonne S eben untergeht; ihr letzter tiefer Strahl SAM ſtreift gerade die Oberfläche bei A, während ihre oberen Strahlen SN, SO durch die Atmoſphäre über A, ohne die Erde zu berühren, ihren Weg nehmen, und die Atmoſphäre endlich an den Punkten P, Q, R verlaſſen, nachdem ſie bei ihrem Durchgange mehr oder weniger gekrümmt worden ſind, der untere am meiſten, der höhere am wenigſten, und derjenige SRO, welcher blos die äußere Grenze der Atmoſphäre ſtreift, nicht im Geringſten. Wir wollen mehrere Punkte A, B, C, D annehmen, von denen der folgende immer weiter als der vorhergehende von A entfernt iſt, und jeder tiefer im Erdſchatten liegt, welcher den ganzen Raum von A unter der Linie AM einnimmt. Nun empfängt A eben den letzten directen Strahl der Sonne, und iſt außerdem von der ganzen reflectirenden Atmoſphäre PQRT beleuchtet. Der Punkt A empfängt deshalb Dämmerung vom ganzen Himmelsgewölbe. Der Punkt B, für welchen die Sonne untergegangen iſt, empfängt kein directes Sonnenlicht, eben ſo wenig directes, oder reflectirtes von demjenigen ganzen Theile ſeiner ſichtbaren Atmoſphäre, welcher unter APM liegt; aber von der linſenförmigen Portion PRx, durch welche die Sonnenſtrahlen ihren Weg nehmen, und welche über dem ſcheinbaren Horizonte BR des Punktes B liegt, empfängt letzterer Dämmerungslicht, welches am ſtärkſten bei R, nämlich dem Punkte iſt, unter welchem ſich unmittelbar die Sonne befindet, und welches allmählig gegen P hin ſchwindet, da der helle Theil der Atmoſphäre immer

ſchwächer wird. Bei C liegt nur die letzte, oder ſchwächſte Portion P Q z des auf dieſe Weiſe beleuchteten linſenförmigen Segmentes über dem Horizonte C Q dieſes Ortes. Hier iſt folglich das Dämmerungslicht ſchwach, und auf einen kleinen Raum in und am Horizonte beſchränkt, den die Sonne verlaſſen hat, während bei D die Dämmerung gänzlich aufgehört hat.

45) Wenn die Sonne über dem Horizonte ſteht, beleuchtet ſie die Atmoſphäre und die Wolken, und dieſe zerſtreuen wiederum einen Theil ihres Lichtes nach allen Richtungen, ſo daß ſie jedem exponirten Punkte von allen Stellen des Himmels aus einige Sonnenſtrahlen zuſenden. Das allgemein verbreitete Licht, deſſen wir uns den Tag über erfreuen, iſt deshalb eine Erſcheinung, welche ganz aus denſelben Urſachen, wie die Dämmerung, entſpringt. Ohne die reflectirende und zerſtreuende Kraft der Atmoſphäre würde uns kein Gegenſtand, der nicht im directen Sonnenſchein läge, ſichtbar ſeyn; jeder Schatten einer vorüberziehenden Wolke würde pechſchwarze Finſterniß geben; die Sterne würden den ganzen Tag über ſichtbar ſeyn, und jedes Zimmer, in welches die Sonne keinen directen Zutritt hätte, würde in nächtliche Dunkelheit eingehüllt ſeyn. Dieſe Zerſtreuungskraft der Atmoſphäre in Bezug auf das Sonnenlicht nimmt, wie bemerkt werden muß, ſehr zu durch die Unregelmäßigkeit der Temperatur, welche daſſelbe Licht in den verſchiedenen Theilen der Atmoſphäre erzeugt, wodurch dieſe Theile den Tag über in einen beſtändigen Zuſtand von Wellenbewegung verſetzt werden; und indem dadurch Luftmaſſen von ſehr ungleichen Temperaturen zuſammengebracht werden, ſo entſtehen partielle Strahlenzurückwerfungen und Strahlenbrechungen an den gemeinſchaftlichen Grenzen dieſer Maſſen. Dadurch wird aber viel Licht von ſeinem geraden Wege ſeitwärts abgelenkt, und für die Zwecke allgemeiner Beleuchtung zerſtreut.

46) Aus der Erklärung, welche wir in den Art. 39. und 40. von der Natur der atmoſphäriſchen Strahlenbrechung, und von der Art gegeben haben, wie ſie bei dem Fortſchritte eines Lichtſtrahles durch ſucceſſive

Schichten oder Lagen der Atmoſphäre entſteht, ergiebt ſich, daß, wenn ein Strahl ſchräg von einem höhern Punkte nach einem tiefern geht, oder umgekehrt, ſein Lauf nicht geradelinig, ſondern nach unten concav iſt; und daß folglich jeder Gegenſtand, den wir mittelſt eines ſolchen Strahles ſehen, von ſeinem wahren Platze verrückt erſcheinen muß, mag nun dieſer Gegenſtand, gleich den Himmelskörpern, gänzlich jenſeits der Atmoſphäre liegen, oder mag er, gleich den aus den Ebenen erblickten Bergſpitzen, oder gleich anderen irdiſchen Standpunkten von verſchiedenen Höhen, deren einer von dem andern aus geſehen werden kann, in dieſelbe eingehüllt ſeyn. Jeder Höhendifferenz, welche, wie dieſes der Fall ſeyn muß, mit einer Differenz der Dichtigkeit in den Luftſchichten verbunden iſt, muß auch ein gewiſſer, dieſer Differenz entſprechender, Betrag der Strahlenbrechung zukommen, und zwar ein geringerer, als die ganze Atmoſphäre erzeugen würde, aber doch ein ſolcher, der häufig der Würdigung ſehr fähig und ſelbſt beträchtlich iſt. Dieſe Strahlenbrechung zwiſchen terreſtriſchen Standpunkten heißt die terreſtriſche Strahlenbrechung, um ſie von jenem Totaleffecte zu unterſcheiden, der ſich nur bei Himmelskörpern, oder bei ſolchen kund giebt, die jenſeits der Atmoſphäre liegen, und der unter dem Namen der himmliſchen oder aſtronomiſchen Strahlenbrechung bekannt iſt.

47) Eine andere Wirkung der Strahlenbrechung iſt die, die ſichtbaren Formen und Verhältniſſe der dicht am Horizonte geſehenen Gegenſtände zu verzerren. Die Sonne z. B., welche in einer beträchtlichen Höhe immer rund erſcheint, nimmt, wenn ſie ſich dem Horizonte nähert, einen zuſammengedrückten oder ovalen Umriß an; ihr horizontaler Durchmeſſer erſcheint ſichtbar gröſſer, als der vertikale. Sehr nahe am Horizonte iſt dieſe Zuſammendrückung offenbar an der untern Seite beträchtlicher, als an der obern, ſo daß die ſcheinbare Geſtalt der Sonne weder kreisförmig, noch elliptiſch iſt, ſondern eine Art von Oval darbietet, welches von einem Kreiſe unten mehr abweicht, als oben. Dieſe ſonderbare Wirkung, welche Jedermann bei einem ſchönen

Sonnenuntergange beobachten kann, entſpringt aus der raſchen Zunahme der Strahlenbrechung, während ſich die Sonne dem Horizonte nähert. Würde jeder ſichtbare Punkt im Umfange der Sonne gleichförmig durch die Strahlenbrechung gehoben, ſo würde die Sonne immer kreisförmig, obſchon von ihrem wahren Orte verſetzt, erſcheinen. Da aber die unteren Theile mehr gehoben werden, als die obern, ſo wird der vertikale Durchmeſſer dadurch verkürzt, während die beiden Extremitäten ihres horizontalen Durchmeſſers auf gleiche Weiſe und in parallelen Richtungen gehoben werden, ſo daß ſeine ſcheinbare Länge dieſelbe bleibt. Die (in der Regel) ausgedehnte Größe der Sonne, oder des Mondes, nahe am Horizonte, während ſie hoch am Himmel kleiner erſcheinen, hat mit der Strahlenbrechung nichts zu thun. Sie iſt eine Täuſchung des Urtheils, welche aus den zwiſchenliegenden, oder mit ihnen genau verglichenen, terreſtriſchen Gegenſtånden entſpringt. In dieſer Lage erblicken und beurtheilen wir Sonne und Mond, wie wir es bei terreſtriſchen Gegenſtånden zu thun gewohnt ſind, nämlich ſtückweiſe, und mit einer angenommenen Gewohnheit, unſere Aufmerkſamkeit auf Theile zu richten. In der Höhe haben wir keine ſolche Verbindungen, die uns leiten könnten, und ihr iſolirter Stand am Firmamente trägt eher dazu bei, ihre ſcheinbaren Größen zu gering, als zu hoch zu ſchätzen. Wirkliche Meſſung mit einem geeigneten Inſtrumente verbeſſert unſern Irrthum, ohne indeſſen unſere Täuſchung zu zerſtreuen. Auf dieſe Weiſe erfahren wir, daß die Sonne, wenn ſie gerade am Horizonte ſteht, in unſern Augen faſt ganz genau denſelben Winkel, der Mond aber einen beträchtlichen kleinern bildet, als wenn ſie in großer Höhe am Himmel geſehen werden, was von der Wirkung der ſogenannten Parallaxe herrührt, die ſogleich erklärt werden ſoll.

48) Nach dem, was von der geringen Ausdehnung der Atmoſphäre im Vergleiche zur Maſſe der Erde geſagt worden iſt, ſtehen wir nicht im Geringſten an, anzunehmen, daß diejenigen leuchtenden Körper, welche den Himmel anfüllen und ſchmücken, und welche, wäh-

rend ſie offenbar keinen Theil der Erde ausmachen und keine Stütze von ihr empfangen, doch nicht aufs Gerадewohl, wie Wolken in der Luft, herumſchwimmen, auch nicht von Winden in Bewegung geſetzt werden, außerhalb unſerer Atmoſphäre liegen. Als ſolche haben wir ſie betrachtet, als wir von ihren Strahlenbrechungen ſprachen; nämlich als Himmelskörper, welche im unermeßlichen Raume jenſeits der Atmoſphäre exiſtiren, und vielleicht in enormen Entfernungen von uns und von einander, ungeachtet wir das Gegentheil zu bemerken glauben.

49) Könnte ein Beobachter, nicht von der Erde oder ſonſt einem feſten Unterſtützungspunkte getragen, exiſtiren, ſo würde er mit einem einzigen Blick den ganzen Inhalt des Raumes — die ſichtbaren Beſtandtheile des Weltalls — rings um ſich herumſchauen, und bei dem Mangel jedes Mittels, ihre Entfernungen von ſich zu beurtheilen, würde er ſie in den Richtungen, in welchen er ſie von ſeinem Stundpunkte aus ſieht, an die concave Oberfläche einer imaginären Kugel verſetzen, deren Mittelpunkt ſein Auge iſt, und deren Oberfläche in unbeſtimmter, unermeßlicher Entfernung liegt. Vielleicht würde er diejenigen Himmelskörper, die ihm groß und glänzend erſcheinen, für näher halten, als die kleineren und weniger glänzenden; aber, unabhängig von anderen Mitteln der Beurtheilung, würde er nicht mehr Gewährleiſtung für ſeine Meinung haben, als für die Vorſtellung, daß ſie alle gleichweit von ihm abſtehen, und wirklich an einer ſolchen ſphäriſchen Oberfläche ihre Standorte haben. Es würde jedoch nichts Unrichtiges darin enthalten ſeyn, wenn er ihre Orte, geometriſch geſprochen, an diejenigen Punkte einer ſolchen rein eingebildeten Kugel verſetzte, welche ihre reſpectiven Sehſtrahlen treffen; und es würde ſogar damit großer Vortheil verbunden ſeyn, weil dadurch die Erſcheinung und der relative Stand derſelben genau gemeſſen, angemerkt und verzeichnet werden könnte. Die Gegenſtände in einer Landſchaft befinden ſich in allen möglichen Entfernungen vom Auge, und dennoch tragen wir ſie, nach ihren gerade ſtattfindenden ſchein-

baren Verhältniſſen, in einem Gemälde auf einerlei Ebene und in einerlei Entfernung auf, und das Bild wird nicht für unrichtig gehalten, wenn auch ein Mann im Vordergrunde größer, als ein Berg in der Entfernung, dargeſtellt ſeyn ſollte. So verhält es ſich auch, wenn ein Beobachter die Himmelskörper als auf diejenige eingebildete Sphäre gemahlt, projicirt oder eingezeichnet anſieht, welche wir den Himmel oder das Firmament nennen. Auf dieſe Weiſe läßt ſich leicht begreifen, daß der Mond, welcher uns ſo groß, wie die Sonne, erſcheint, obſchon nicht ſo glänzend, dieſe ſcheinbare Gleichheit der Größe ſeiner größern Nähe verdanken, und doch in der That weit kleiner ſein könne, während ebenfalls ſowohl der Mond als die Sonne nur deshalb größer und glänzender erſcheinen mögen als die Sterne, weil letztere entfernter ſeyn können.

50) Ein Beobachter auf der Oberfläche der Erde wird durch die große Maſſe, auf welcher er ſteht, verhindert, den ganzen Theil des unter ihm liegenden Raumes zu ſehen, oder um denſelben zu ſehen, muß er in irgend einem Grade niederwärts blicken können. Wenn er ſeinen Standort in einer großen Höhe wählt, ſo kann er zwar, vermöge der Depreſſion des Horizontes, etwas mehr, als eine Halbkugel, überſehen, und die Strahlenbrechung wird ihn, wo er auch ſeinen Standort gewählt haben mag, in den Stand ſetzen, ſo zu ſagen, ein wenig um die Ecke herumzuſehen; aber die Zone, um welche auf dieſe Weiſe ſein Geſichtskreis vergrößert wird, kann kaum jemals, ausgenommen unter ganz außerordentlichen Umſtänden *) ein Paar Grade

---

*) Wie der folgende z. B: — Der verſtorbene Hr. Sadler, der berühmte Luftſchiffer, ſtieg Nachmittags 2 Uhr zu Dublin in einem Luftballon auf, und wurde über den Canal getrieben. Gegen Sonnenuntergang näherte er ſich der engliſchen Küſte, als der Ballon faſt bis auf den Meeresſpiegel niedergieng. Um dieſe Zeit war die Sonne untergegangen, und die Dunkelheit des Abends begann ſich einzuſtellen. Er warf faſt allen Ballaſt aus, und ſtieg plötzlich bis zu einer beträchtlichen Höhe, wo er die ganze Er-

in der Breite betragen, und ſie kann, wegen der Dünſte am Horizonte, immer nur undeutlich geſehen werden. Wenn er nicht, durch eine Veränderung ſeiner geographiſchen Lage, ſeinen Horizont wechſelt (der immer eine Ebene iſt, welche die ſphäriſche Convexität der Erde an ſeinem Standpunkte berührt); oder wenn die Himmelskörper, in Folge irgendwelcher ihnen eigenthümlicher Bewegungen, nicht von ſelbſt über ſeinen Horizont kommen; oder wenn nicht endlich, durch eine Umdrehung der Erde ſelbſt um ihren Mittelpunkt, diejenige Stelle ihrer Oberfläche, auf welcher er ſeinen Standpunkt genommen hat, mit herumgedreht und einer andern Region des Raumes zugeführt wird: ſo wird er nie auch nur die eine Hälfte der Himmelskörper außerhalb unſerer Atmoſphäre genau zu Geſicht bekommen. Aber wenn einer dieſer Fälle angenommen wird, ſo kann ein größerer Theil derſelben, oder es können alle, je nach den Umſtänden, ihm vollkommen ſichtbar werden.

51) Ein Reiſender z. B., der ſeinen Ort auf unſerer Erdkugel verändert, wird Himmelskörper zu Geſicht bekommen, die von ſeinem urſprünglichen Standpunkte aus unſichtbar waren, und zwar auf eine Weiſe, die ſich nicht übel dadurch erläutern läßt, daß man ihn mit einer Perſon vergleicht, die in einem Park hinter einem dicken Baume ſteht. Das maſſive Hinderniß, welches der Stamm des Baumes darbietet, entzieht ihm die ganze Anſicht derjenigen Theile der Landſchaft, welche der Stamm verdeckt; aber indem er um ihn herumgeht, kann er nach und nach einen vollſtändigen Ueberblick des ganzen Panoramas erhalten. Ganz auf dieſelbe Weiſe werden wir unfehlbar die Bemerkung machen, wenn wir von irgend einem Standpunkte, z. B. von London, ab-

ſcheinung eines weſtlichen Sonnenaufgangs hatte. Nachher ließ er ſich in Wales nieder, und ſah einen zweiten Sonnenuntergang an demſelben Abend. Ich habe dieſe Anekdote vom Dr. Lardner, welcher beim Aufſteigen des Hr. Sadler gegenwärtig war, und deſſen eigene Reiſebeſchreibung geleſen hat. Der Verfaſſer.

reiſen und eine ſüdliche Richtung verfolgen, daß viele Himmelskörper, die wir in London niemals ſahen, uns nach und nach ſichtbar werden, als ob ſie Nacht für Nacht aus dem Süden über den Horizont emporſtiegen, obſchon es in der Wirklichkeit nur unſer Horizont iſt, der mit uns in ſüdlicher Richtung um die Erdkugel wandert, und ſich unter jene Himmelskörper der Reihe nach ſenkt. Von der Neuheit und dem Glanze friſcher Sternbilder, welche auf dieſe Weiſe, während langer Reiſen nach Süden, in den heitern ruhigen Nächten tropiſcher Climate ſucceſſiv zum Vorſchein kommen, erzählen Alle, welche dieſen Anblick genoſſen haben, der nie verfehlt, ſich der Erinnerung als einen der ergötzlichſten und intereſſanteſten Genüſſe einzuprägen, die mit weiten Reiſen verbunden zu ſeyn pflegen. Ein Blick auf Fig. 6., welche drei ſucceſſive Standpunkte A, B, C eines Reiſenden, ſammt dem jedem Standpunkte entſprechenden Horizonte, darbietet, vermag dieſen Vorgang deutlicher zu erläutern, als irgend eine Beſchreibung.

52) Nehmen wir ferner an, die Erde habe eine rotirende Bewegung um ihren Mittelpunkt, ſo leuchtet von ſelbſt ein, daß ein Beobachter, im Zuſtande der Ruhe (ſo wie es ihm vorkommt) auf irgend einem Theile der Erdkugel, ohne daß er es merkt, mit im Kreiſe herumgeführt wird. Wir ſagen, „ohne daß er es merkt,“ weil ſein Horizont beſtändig dieſelben terreſtriſchen Gegenſtände enthält und von denſelben begrenzt iſt. Er wird beſtändig dieſelbe Landſchaft vor Augen haben, in welcher alle bekannten Gegenſtände, die ihm als Grenzen und Richtungen dienen, in Bezug auf ihn oder gegen einander, dieſelben unveränderlichen Lagen behalten. Die vollkommene Sanftheit und Gleichheit der Bewegung einer ſo ungeheueren Maſſe, woran jeder Gegenſtand, den er um ſich herum erblickt, ebenfalls Theil nimmt, läßt ihn gar nicht auf die Vermuthung kommen (Art. 15.), daß er wirklich den Ort verändere. Aber in Bezug auf äußere Gegenſtände, — nämlich in Bezug auf alle Himmelskörper, die an

der ſupponirten Umdrehung der Erde nicht Theil nehmen, — wird ſein Horizont ſich beſtändig verändert haben, ganz wie in dem Falle des Reiſenden im vorhergehenden Artikel. Um wieder auf die Figur des eben erwähnten Artikels zurückzukommen, ſo iſt es offenbar ganz einerlei, inſoweit es die Sichtbarkeit der Himmelskörper betrifft, ob er durch die Umdrehung der Erde nach und nach in die Lagen A, B, C verſetzt worden iſt, oder ob die Erde im Zuſtande der Ruhe bleibt, und er ſich perſönlich längs ihrer Oberfläche nach jenen Standpunkten begiebt. Unſer Beobachter im Park wird ganz den nämlichen Anblick der Landſchaft erhalten, wenn er um den Baum herumgeht, oder wenn wir uns den Baum abgeſägt und ſich auf einem aufrecht ſtehenden Zapfen herumdrehend denken, während der Beobachter auf einem daran befeſtigten Fußtritte ſteht, und ſich durch die Drehung des Stammes mit im Kreiſe herumführen läßt. Den einzigen Unterſchied wird ſein Anblick des Baumes ſelbſt ausmachen, von welchem er im erſtern Falle jeden Theil, in letzterm aber nur diejenige Portion deſſelben ſehen wird, die ihm beſtändig zugekehrt und unmittelbar vor Augen bleibt.

53) In Folge einer ſolchen Umdrehung der Erde wird alſo, wie wir angenommen haben, der Horizont eines ſtationären Beobachters beſtändig unter diejenigen Himmelskörper hinabſinken, welche in derjenigen Gegend des Raumes liegen, nach welcher hin die Umdrehung ihn führt; und er wird ſich über jene in der entgegengeſetzten Weltgegend erheben, ſo daß der Beobachter erſtere zu Geſicht bekommt und letztere ſucceſſiv aus dem Geſichte verliert. Da nun einem jeden ſolchen Beobachter ſein Horizont als bewegungslos erſcheint, ſo wird er alle ſolche Veränderungen auf eine Bewegung der Himmelskörper ſelbſt, die ihm ſo ſucceſſiv erſcheinen und verſchwinden, beziehen. Statt daß ſich alſo ſein Horizont den Sternen nähert, wird er annehmen, daß ſich die Sterne ſeinem Horizonte nähern; und wenn der Horizont ſich über dieſelben erhebt und manche von ihnen verbirgt, ſo wird es ihm vorkommen, als ob dieſelben unter den Horizont geſunken oder u n t e r g e-

gangen ſeyen, während diejenigen, die eben ſeinem Blicke aufgeſchloſſen worden ſind, und von denen ſich der Horizont entfernt, ſich über denſelben zu erheben ſcheinen.

54) Wenn wir annehmen, daß dieſe Umdrehung der Erde in einer und derſelben Richtung fortdauere, — nämlich um eine und dieſelbe Axe erfolge, bis ein ganzer Umgang vollendet iſt, und der Beobachter wieder dahin zurück gelangt, von wo er auslief, als er ſeine Beobachtungen begann, — ſo iſt es offenbar, daß alsdann jeder Gegenſtand ſich genau wieder in derſelben relativen Lage, wie anfangs, befindet: alle Himmelskörper werden an der Himmelswölbung dieſelben Orte einnehmen, wie in jenem Augenblicke, bis auf ſolche, die ſich in der Zwiſchenzeit wirklich bewegt haben; und wenn die Umdrehung immer fortdauert, ſo werden dieſelben Erſcheinungen ihres ſucceſſiven Aufgehens und Untergehens, ſo wie ihre Rückkehr an dieſelben Orte, beſtändig in der nämlichen Ordnung ſich wiederholen, und zwar (wenn die Geſchwindigkeit der Umdrehung eine gleichförmige iſt) in gleichen Zeiträumen, bis ins Unendliche fort.

55) Damit hätten wir nun ein lebendiges Gemälde jener großen Erſcheinung, der über alle Vergleichung wichtigſten, welche die Natur uns darbietet, des täglichen Aufganges und Unterganges der Sonne und der Sterne, ihres Fortſchrittes durch das Gewölbe des Himmels, und ihrer Rückkehr an dieſelben ſcheinbaren Orte zu denſelben Stunden des Tages und der Nacht. Die Vollendung dieſer Wiederherſtellung in dem regelmäßigen Zeitraume von 24 Stunden iſt das erſte uns vorkommende Beiſpiel jenes großen Geſetzes des Kreislaufes, welches, wie wir ſehen werden, die ganze Aſtronomie durchdringt. Wir verſtehen nämlich darunter die beſtändige Wiederkehr derſelben Erſcheinung in derſelben Ordnung und in gleichen Zeiträumen.

56) Eine freie Umdrehung der Erde um ihren Mittelpunkt, wenn eine ſolche beſteht und nach denſelben mechaniſchen Geſetzen ſtattfindet, welche bei den Bewegungen materieller Maſſen, unter unſerer unmittelbaren

Controle und innerhalb der Grenzen unſerer gewöhnlichen Erfahrung, gültig ſind, muß von der Art ſeyn, daß ſie zwei weſentlichen Bedingungen entſpricht: ſie muß unveränderlich in ihrer Richtung in Bezug auf die Erdkugel ſelbſt, und gleichförmig in ihrer Geſchwindigkeit ſeyn. Die Umdrehung muß ſtattfinden um eine Axe, oder einen Durchmeſſer der Kugel, deſſen Pole oder Extremitäten, wo er die Oberfläche erreicht, immer denſelben Punkten auf der Kugel entſprechen. Es laſſen ſich Umdrehungsarten eines feſten Körpers unter dem Einfluß äußerer Wirkung denken, bei welchen die Pole der eingebildeten Linie oder Axe, um welche er ſich in irgend einem Momente dreht, keine feſten Orte auf der Oberfläche behalten, ſondern ſich auf derſelben in jedem Augenblicke verrücken. Solche Veränderungen ſind indeſſen unverträglich mit der Idee der Umdrehung eines Körpers von regelmäßiger Geſtalt um ſeine ſymmetriſch liegende Axe, im freien Raume, und ohne Widerſtand oder Behinderung von irgend einem umgebenden Mittel. Die vollſtändige Abweſenheit ſolcher Behinderungen hat nothwendig die ſtrenge Erfüllung der oben erwähnten zwei Bedingungen zur Folge.

57) Nun ſtehen dieſe Bedingungen in vollkommenem Einklange mit dem, was wir beobachten, und mit dem, was die aufgezeichnete Beobachtung uns in Betreff der täglichen Bewegungen der Himmelskörper lehrt. Die Geſchichte bietet uns keinen Grund dar, anzunehmen, daß in dem Zeitraume zwiſchen zwei ſucceſſiven Rückkehren deſſelben Sternes an denſelben Punkt des Firmaments, ſeit den früheſten Zeiten her eine merkliche Veränderung ſtattgefunden habe; oder es läßt ſich vielmehr aus aſtronomiſchen Urkunden darthun, daß eine ſolche Veränderung wirklich nicht ſtattgefunden habe. Und was die andere Bedingung, — die Unveränderlichkeit der Umdrehungsaxe, — anlangt, ſo würden ſich die Erſcheinungen, die eine Veränderung in dieſer Hinſicht hervorbringen müßte, wie wir ſogleich näher zeigen wollen, durch eine entſprechende Veränderung ſehr auffallender Art in den ſcheinbaren Bewegungen der Sterne kund geben, welche

Veränderung aber, wie die Geſchichte ſehr entſchieden bezeugt, nicht ſtattgefunden hat.

58) Aber bevor wir genauer zu unterſuchen beginnen, wie die Hypotheſe der Umdrehung der Erde um eine Axe mit den Erſcheinungen im Einklange ſteht, welche die tägliche Bewegung der Himmelskörper dem Beobachter darbietet, wird es zweckmäßig ſeyn, genau zu beſchreiben, worin dieſe tägliche Bewegung beſteht, und in wiefern ſämmtliche Sterne daran Antheil nehmen, oder ob manche von ihnen, ganz oder zum Theil von der gemeinſchaftlichen Analogie der übrigen, Ausnahmen bilden. Wir wollen deshalb annehmen, daß ſich der Leſer an einem heitern Abend kurz nach Sonnenuntergang, wenn die erſten Sterne zu erſcheinen beginnen, irgend einen freien Platz, der einen guten allgemeinen Anblick des Himmels geſtattet, zum Standort erwählt habe. Er wird dann über und um ſich, ſo zu ſagen, ein unermeßliches concaves hemiſphäriſches Gewölbe, beſetzt mit Sternen von verſchiedenen Größen, erblicken, unter welchen nur die glänzendſten in der Dämmerung zuerſt ſeine Aufmerkſamkeit feſſeln; es werden deren mit zunehmender Dunkelheit immer mehr und mehr zum Vorſchein kommen, bis der ganze Himmel über und über mit leuchtenden Punkten beſetzt iſt. Wenn er eine Zeitlang die ſtille Pracht dieſes herrlichen Schauſpieles, den Gegenſtand ſo vieler Geſänge und ſo vieler Gedanken, bewundert hat, — ein Schauſpiel, das niemand ohne Rührnng und ohne den ſehnſüchtigen Wunſch betrachten kann, etwas von ſeiner Natur und ſeiner Bedeutung zu erfahren, — ſo richte er ſeine Aufmerkſamkeit beſonders auf einige der glänzendſten Sterne, die er unfehlbar, ohne ſich zu irren, wieder auffinden kann, wenn er von ihnen eine Zeitlang den Blick abgewendet hat, und er beziehe ihre ſcheinbaren Lagen auf einige umgebende Gegenſtände, z. B. auf Gebäude, Bäume u. ſ. w., nachdem er gefliſſentlich ſolche Sterne gewählt hat, welche in verſchiedenen Weltgegenden ſeines Horizontes ſtehen. Wenn er ſie wieder mit den reſpectiven Punkten, auf welche er ſie bezogen hatte, nach einer mäßigen Zeit während der Nacht vergleicht, ſo wird

er unfehlbar bemerken, daß ſie ihre Orte verändert haben, und gleichſam, in Folge einer allgemeinen Bewegung in weſtlicher Richtung fortgerückt ſind. Diejenigen in Oſten haben ſich über den Horizont erhoben, oder ſich von demſelben entfernt, während die im Weſten ſich demſelben genähert haben; — und wenn man lange genug wartet, ſo werden ſie meiſtentheils endlich unter den Horizont ſinken und verſchwinden, während andere im Oſten, gleichſam wie aus der Erde hervor, aufgehen und, ſich an die allgemeine Proceſſion anſchließend, ihren Lauf mit den übrigen nach der entgegengeſetzten Weltgegend nehmen.

59) Wenn der Beobachter eine beträchtliche Zeit lang fortfährt, in derſelben, oder in mehreren auf einander folgenden Nächten die Bewegungen der Sterne zu beobachten, ſo wird er die Bemerkung machen, daß jeder Stern, ſoweit ſein Lauf über dem Horizonte liegt, am Himmel einen Kreis beſchreibt; daß die ſo beſchriebenen Kreiſe nicht für alle Sterne von derſelben Größe ſind; und daß die von verſchiedenen Sternen beſchriebenen, hinſichtlich derjenigen Theile derſelben, welche über dem Horizonte liegen, gar ſehr verſchieden ſind. Manche, welche in derjenigen Weltgegend des Horizontes liegen, die wir S ü d e n*) nennen, bleiben nur eine kurze Zeit über dem Horizonte, und verſchwinden, nachdem ſie nur das kleine obere, ſichtbare Segment ihres täglichen Kreiſes beſchrieben haben; andere, welche zwiſchen Süd und Oſt aufgehen, beſchreiben größere Segmente ihrer Kreiſe über dem Horizonte, bleiben verhältnißmäßig länger ſichtbar, und gehen genau ſo weit weſtwärts von Süden unter, als ſie oſtwärts aufgegangen waren; während dagegen ſolche, die genau in Oſten aufgehen, gerade zwölf Stunden ſichtbar bleiben, einen Halbkreis beſchreiben, und genau in Weſten untergehen. Bei denjenigen, welche zwiſchen Oſten und Norden auf-

---

*) Wir nehmen an, der Beobachter habe ſich ſeinen Standpunkt in einer nördlichen Breite gewählt, z. B. irgendwo in Europa.

gehen, behauptet ſich daſſelbe Geſetz, wenigſtens, was die Zeit ihrer Anweſenheit über dem Horizonte und das Verhältniß des ſichtbaren Segmentes ihrer Tagekreiſe zu den ganzen Peripherieen derſelben anlangt. Beide nehmen zu; dieſe Sterne bleiben über zwölf Stunden lang ſichtbar, und die ſichtbaren Bogen ihrer Tagekreiſe ſind mehr, als Halbkreiſe. Aber die Größen der Kreiſe ſelbſt nehmen ab in dem Verhältniſſe, in welchem wir uns von Oſten nach Norden wenden; der größte aller Kreiſe wird von denen beſchrieben, die genau im Oſtpunkte aufgehen. Wendet der Beobachter ſein Auge weiter nach Norden, ſo wird er endlich Sterne bemerken, welche in ihrer täglichen Bewegung den Horizont gerade an ſeinem Nordpunkte ſtreifen, oder nur auf einen Augenblick unter denſelben ſinken; während andere dagegen ihn gar nicht erreichen, ſondern immer über demſelben bleiben, indem ſie ſich in ganzen Kreiſen um einen Punkt herumbewegen, welcher der Pol heißt, und welcher ſich als den gemeinſchaftlichen Mittelpunkt aller ihrer Bewegungen darſtellt, den man allein am ganzen Himmel als unbeweglich betrachten kann. Dieſer Punkt iſt nicht durch einen Stern bezeichnet, ſondern er iſt ein rein imaginärer Mittelpunkt; aber in der Nähe deſſelben befindet ſich ein ſehr glänzender Stern, der ſogenannte Polarſtern, der leicht an dem ſehr kleinen Kreiſe, den er beſchreibt, zu erkennen iſt. Dieſer Kreis iſt in der That ſo klein, daß, wenn man nicht beſondere Aufmerkſamkeit darauf verwendet, und den Stand des Polarſterns ſehr genau auf ein feſtſtehendes Kennzeichen bezieht, man ihn leicht für ruhend halten, und irriger Weiſe für den gemeinſchaftlichen Mittelpunkt anſehen könnte, um welchen alle anderen Sterne in dieſer Gegend ihre Kreiſe beſchreiben; man kann ihn übrigens an ſeiner Stellung gegen ein ſich ſehr auszeichnendes und merkwürdiges Sternbild (oder Sterngruppe) erkennen, welches von den Aſtronomen der große Bär genannt wird.

60) Der Beobachter wird ferner bemerken, daß die ſcheinbare relative Lage aller Sterne gegen einander durch ihre tägliche Bewegung ſich nicht ändert. In welchen

Theilen ihrer Kreiſe man ſie auch beobachtet, oder zu welcher Stunde der Nacht, ſo bilden ſie doch immer mit einander die nämlichen Gruppen oder Configurationen, die man Sternbilder nennt. Zwar haben in den verſchiedenen Theilen ihres Laufes dieſe Gruppen einen verſchiedenen Stand gegen den Horizont; und diejenigen nach Norden, wenn ſie bei ihrer täglichen Bewegung abwechſelnd über und unter jenen gemeinſchaftlichen Mittelpunkt der Bewegung, der im letzten Artikel beſchrieben worden iſt, zu ſtehen kommen, werden in Bezug auf den Horizont wirklich umgekehrt, während ſie dagegen immer dieſelben Punkte dem Pole zuwenden. Kurz, der Beobachter wird bemerken, daß man die ganze Geſammtheit der auf einmal oder nach und nach ſichtbaren Sterne als ein einziges großes Sternbild betrachten kann, welches mit einer gleichförmigen Bewegung ſich umzudrehen ſcheint, als ob es eine zuſammenhängende Maſſe bildete, oder als ob es an die innere Oberfläche einer ungeheuern hohlen Kugel befeſtigt wäre, welche die Erde, oder vielmehr den Beobachter, in ihrem Mittelpunkte hat, und ſich um eine gegen ſeinen Horizont geneigte Axe dreht, welche durch den bereits erwähnten fixen Punkt oder Pol läuft.

61) Endlich wird er bemerken, wenn es ihm nicht an Geduld gebricht, eine lange Winternacht hindurch vom erſten Moment an, wo die Sterne erſcheinen, bis zur Morgendämmerung zu wachen, daß diejenigen Sterne, welche er im Weſten untergehen ſah, wiederum in Oſten aufgegangen ſind, während diejenigen, die eben aufgiengen, als er ſeine Beobachtung begann, ihren Lauf vollendet haben und jetzt untergegangen ſind; und daß auf dieſe Weiſe die Hemiſphäre, oder ein großer Theil derſelben, der anfangs über ihm war, jetzt unter ihm ſich befindet, und daß deſſen Stelle nun von demjenigen Theile eingenommen iſt, der anfangs unter ſeinen Füßen ſich befand, und welcher, wie er jetzt entdeckt, nicht weniger reich mit Sternen beſetzt iſt, wie der andere, und mit Sterngruppen verſehen, die nicht minder unveränderlich und eben ſo deutlich zu unterſcheiden ſind. Er wird auf dieſe Weiſe lernen, daß das

oben erwähnte große Sternbild, welches ſich um den Pol herumbewegt, von gleichem Umfange iſt mit der ganzen Oberfläche der Kugel, die in der That nichts anders iſt, als ein Univerſum von leuchtenden Körpern, welche die Erde von allen Seiten umgeben, nach und nach dem Blicke des Beobachters ſich aufſchließen, und (jeder leuchtende Körper nach ſeinem eigenen Sehſtrahl oder nach der Richtung vom Auge aus) auf die imaginäre ſphäriſche Oberfläche bezogen werden, deren Mittelpunkt er ſelbſt einnimmt. (Siehe Art. 49.).

62) Es giebt indeſſen einen Theil oder ein Segment dieſer Kugel, was er auf dieſe Weiſe nicht zu Geſicht bekommt. So wie es ein Segment gegen Norden am Pole über ſeinem Horizonte giebt, in welchem die Sterne niemals untergehen, ſo giebt es auch ein entſprechendes Segment, auf dem die kleineren Kreiſe der ſüdlichern Sterne beſchrieben werden, und in welchem ſie niemals aufgehen. Die Sterne, welche an den äußern Umfang dieſes Segmentes grenzen, ſtreifen gerade den Südpunkt des Horizontes des Beobachters, und zeigen ſich nur auf einige Augenblicke über demſelben, gerade ſo, wie diejenigen am Umfange des nördlichen Segmentes den nördlichen Horizont ſtreifen, und auf einen Augenblick unter denſelben ſinken, um ſogleich wieder zum Vorſchein zu kommen. Jeder Punkt auf einer ſphäriſchen Oberfläche hat, wie es ſich verſteht, einen andern, ihm diametral gegenüber liegenden; und da der Horizont des Beobachters die Kugel in zwei Halbkugeln, eine obere und eine untere, theilt, ſo muß es nothwendig unter dem Horizonte in Süden einen Pol geben, welcher dem über dem Horizonte in Norden befindlichen entſpricht, und einen denſelben umgebenden, beſtändig unter dem Horizonte bleibenden Theil der Sphäre, ſo wie ein anderer vorhanden iſt, der den Nordpol umgiebt und beſtändig über dem Horizonte bleibt.

„Hic vertex nobis semper sublimis; at illum
Sub pedibus nox atra videt, manesque profundi.“ —

Virgil.

63) Um dieſes Segment zu Geſicht zu bekommen, muß er nach Süden wandern, und indem er dieſes ausführt, bietet ſich ihm eine neue Reihe von Erſcheinungen dar. In dem Verhältniß, in welchem er ſich nach Süden fortbewegt, wird er die Bemerkung machen, daß einige derjenigen Geſtirne, die auf ſeinem urſprünglichen Standpunkte den nördlichen Horizont kaum ſtreiften, nun unter denſelben ſinken und untergehen, indem ſie anfangs nur auf eine ſehr kurze, aber nach und nach auf längere Zeit verborgen bleiben. Sie laufen indeſſen beſtändig um den nämlichen Punkt, indem ſie dabei dieſelbe unveränderliche Lage gegen einander am Himmelsgewölbe behalten; aber dieſer Punkt wird allmählig ſelbſt in Bezug auf den Horizont des Beobachters deprimirt. Mit einem Worte, die Axe, um welche die tägliche Bewegung erfolgt, wird immer weniger und weniger gegen den Horizont geneigt erſcheinen; und um eben ſo viel, als der Nordpol deprimirt iſt, wird der Südpol ſich heben, und die denſelben umgebenden Geſtirne werden zum Vorſchein kommen, anfangs nur für einen Augenblick, aber nach und nach für immer längere Zeit bei jedem täglichen Umlaufe, — und es wird ſo, mit einem Wort, in Erfüllung gehen, was wir bereits im Art. 51. geſagt haben.

64) Wenn der Beobachter beſtändig in ſüdlicher Richtung fortreiſet, ſo wird er endlich auf der Erdoberfläche eine Linie erreichen, welche der Aequator heißt; und wenn er an irgend einer beliebigen Stelle deſſelben ſeinen Standpunkt wählt, und ſeine Beobachtungen wieder beginnt, ſo wird er finden, daß er beide Mittelpunkte der täglichen Bewegung, an einander entgegengeſetzten Stellen, in ſeinem Horizonte hat, indem der Nordpol herabgeſunken iſt, und der Südpol ſich gehoben hat; ſo daß, in dieſer geographiſchen Lage die tägliche Umdrehung des Himmels als um eine horizontale Axe vor ſich gehend ihm erſcheint, indem jeder Stern die Hälfte ſeines Tagekreiſes über, und die andere Hälfte unter ſeinem Horizonte beſchreibt, alſo abwechſelnd zwölf Stunden ſichtbar und eben ſo lange unſichtbar bleibt. In dieſer Lage gewinnt er nach und

nach einen Anblick von jedem Theile des Himmels. In einer Nacht von zwölf Stunden (wenn man annimmt, daß eine ſolche Fortdauer der Dunkelheit am Aequator möglich ſey) wird die ganze Himmelskugel vor ſeinem Blicke vorübergegangen ſeyn; die ganze Halbkugel, mit welcher er ſeine nächtliche Beobachtung begann, wird ſich unter ihn hinab, und die ganze entgegengeſetzte über ihn empor bewegt haben.

65) Wenn er den Aequator paſſirt, und noch weiter nach Süden ſeine Reiſe fortſetzt, ſo wird der ſüdliche Pol des Himmels ſich über ſeinen Horizont erheben, und der nördliche unter denſelben hinabſinken, und zwar um ſo mehr, je weiter er nach Süden vorrückt; und wenn er einen Standort erreicht hat, ſo weit ſüdlich vom Aequator, als derjenige, von wo er ausgieng, nördlich von demſelben lag, ſo wird er alle Erſcheinungen des Himmels umgekehrt finden. Die Sterne, welche auf ſeinem urſprünglichen Standpunkte ihre ganzen Tagekreiſe über ſeinem Horizonte beſchrieben, und niemals untergiengen, beſchreiben ſie jetzt gänzlich unter demſelben, und gehen niemals auf, ſondern bleiben ihm beſtändig unſichtbar; und, umgekehrt, diejenigen Sterne, welche er auf ſeinem erſten Standpunkte niemals ſah, wird er jetzt ohne Unterbrechung über ſeinem Horizonte erblicken.

66) Wenn er endlich, ſtatt von ſeinem erſten Standpunkte aus nach Süden zu gehen, in nördlicher Richtung reiſet, ſo wird er die Bemerkung machen, daß ſich der nördliche Pol des Himmels immer mehr über ſeinen Horizont erhebt, und der ſüdliche immer mehr unter denſelben hinabſinkt. Seine Halbkugel bietet ihm folglich eine geringere Mannichfaltigkeit von Sternen dar, weil ein größerer Theil der ganzen Oberfläche des Himmels beſtändig ſichtbar, oder beſtändig unſichtbar bleibt. Der von jedem Stern beſchriebene Kreis wird auch dem Horizonte immer mehr parallel; ja könnte er weit genug nach Norden reiſen, ſo iſt aller Anſchein vorhanden, anzunehmen, daß er endlich einen Punkt vertikal unter dem Nordpole des Himmels erreichen würde, wo kein Stern aufgehen, oder untergehen, ſondern wo jeder am Horizont herum in Kreiſen ſich bewegen würde, die

demſelben parallel ſind. Es ſind manche Verſuche gemacht worden, dieſen Punkt zu erreichen, welcher der Nordpol der Erde heißt, jedoch bis jetzt immer ohne Erfolg, indem die zunehmende Strenge des Climas ein Hinderniß von faſt unüberſteiglicher Schwierigkeit entgegenſetzt. Man hat ſich aber demſelben ſehr beträchtlich genähert, und die Erſcheinungen dieſer Gegenden, wenn auch nicht genau von der Art, wie ſie nach unſerer Beſchreibung am Pole ſelbſt eintreten müßen, haben jedoch dargethan, daß ſie mit der großen Nähe an demſelben in genauer Uebereinſtimmung ſtehen. Eine ähnliche Bemerkung findet auf den Südpol der Erde ihre Anwendung, dem man ſich noch weniger nähern kann, oder welchem man wenigſtens noch nicht ſo nahe gekommen iſt, als dem Nordpole.

67) Obiges iſt eine Schilderung der Erſcheinungen der täglichen Bewegung der Sterne, wie ſie durch verſchiedene geographiſche Lagen modificirt werden, und ſie gründet ſich nicht etwa auf Speculation, ſondern dieſe Erſcheinungen ſind wirklich ſo beobachtet und von Reiſenden erzählt worden. Sie ſteht indeſſen in vollkommenem Einklange mit der Hypotheſe einer Umdrehung der Erde um eine feſte Axe. Um jedoch dieſes darzuthun, wird es nothwendig ſeyn, einige Bemerkungen über die Erſcheinungen vorauszuſchicken, welche eine Geſammtheit entfernter Gegenſtände darbietet, wenn man ſie von verſchiedenen Theilen eines kleinen und begränzten Standortes aus betrachtet.

68) Man denke ſich eine Landſchaft, in welcher eine große Menge Gegenſtände in jeder Mannichfaltigkeit der Entfernug vom Beobachter befindlich ſind. Wenn er ſeinen Standpunkt nur um einige Schritte verändert, ſo wird er eine ſehr große Veränderung in den ſcheinbaren Lagen der nähern Gegenſtände, ſowohl in Bezug auf ihn ſelbſt, als auch auf die Gegenſtände zu einander, wahrnehmen. Wenn er ſich z. B. nach Norden bewegt, ſo werden nahe Gegenſtände zur Rechten und Linken, welche deshalb öſtlich und weſtlich von ſeinem urſprünglichen Standorte lagen, hinter ihm bleiben, und ſich nach Süden entfernen; einige, welche ein-

ander anfangs bedeckten, werden ſich trennen, andere ſich nähern und vielleicht einander verbergen. Entfernte Objecte dagegen werden nicht ſo große und auffallende Veränderungen der relativen Lage darbieten. Ein Gegenſtand, öſtlich von ſeinem urſprünglichen Standpunkte, in 1 oder 2 Meilen Entfernung, wird immer noch von ihm mit einer kaum merklichen Abweichung auf den Oſtpunkt ſeines Horizontes bezogen werden. Der Grund davon liegt darin, daß wir die Lage jedes Gegenſtandes auf die Oberfläche einer imaginären Kugel von unbeſtimmtem Radius beziehen, in deren Mittelpunkte ſich unſer Auge befindet; und wenn wir in einer Richtung AB, (Fig. 7.) fortſchreiten, nehmen wir dieſe imaginäre Kugel mit uns, ſo daß die Sehſtrahlen AP, AQ, durch welche die Gegenſtände auf die Oberfläche der Kugel bezogen werden (bei c z. B.), ihre Lagen in Bezug auf die Linie AB, auf welcher wir uns bewegen, und die als eine Axe oder Beziehungslinie dient, verändern, und neue Lagen BPp, BQq annehmen, indem ſie ſich um ihre betreffenden Gegenſtände, wie um Mittelpunkte, drehen. Ihre Durchſchnitte mit unſerer Sehſphäre, bei p und q, werden ſich alſo an der Oberfläche der letztern von einander entfernen, jedoch mit verſchiedenen Graden von Winkelgeſchwindigkeit, im Verhältniſſe zu ihrer Nähe. Dieſelbe Größe des Fortſchrittes AB giebt bei dem nahen Gegenſtande P einen größern Winkel APB = cPp, als bei dem entfernten Q.

69) Dieſe ſcheinbare Winkelbewegung eines Gegenſtandes an unſerer Sehſphäre *), welche aus einer Veränderung unſeres Geſichtspunktes entſteht, heißt Pa-

---

*) Die imaginäre Sphäre außer uns, auf welche wir die Orte der Gegenſtände beziehen, und die wir überall mit uns nehmen, wohin wir uns begeben, iſt ohne Zweifel durch Ideenaſſociation innig verbunden, wenn nicht gänzlich abhängig von jener dunkeln Wahrnehmung einer Empfindung in den Netzhäuten unſerer Augen, wovon wir uns, ſelbſt wenn ſie geſchloſſen und nicht erregt ſind, nicht gänzlich

rallaxe, und ſie wird immer ausgedrückt durch den Winkel APB am Gegenſtande P, indem man mittelſt einer Linie die beiden fraglichen Geſichtspunkte A und B mit einander verbindet. Denn es liegt auf der Hand, daß die Differenz der Winkellage von P in Bezug auf die unveränderliche Richtung ABD, von A und von B aus geſehen, die Differenz der beiden Winkel DBP und DAP iſt; nun iſt aber DBP, als der äußere Winkel des Dreieks ABP, gleich der Summe des innern und des gegenüberliegenden, nämlich DBP = DAP + APB, weshalb DBP — DAP = APB.

70) Es folgt hieraus, daß der Betrag der parallactiſchen Bewegung in Folge einer gegebenen Veränderung unſeres Geſichtspunktes, unter übrigens gleichen Umſtänden, um ſo viel kleiner iſt, als die Entfernung eines beobachteten Gegenſtandes größer iſt; und wenn dieſe Entfernung, verglichen mit der Veränderung in unſerem Geſichtspunkt, außerordentlich groß iſt, ſo wird die Parallaxe unmerklich, oder, mit andern Worten, die Gegenſtände ſcheinen alsdann, ihre Lage gar nicht zu verändern. Aus dieſem Grundſatze erklärt es ſich, woher man in Alpengegenden, die man zum erſtenmale beſucht, über den geringen Fortſchritt,

---

frei machen können. Wir haben eine wirkliche ſphäriſche Oberfläche innerhalb unſerer Augen, den Sitz des Empfindens und Sehens, welche Punkt für Punkt der äußern ſphäriſchen Oberfläche entſpricht. Auf dieſer ſind die Sterne u. ſ. w. wirklich verzeichnet, ſo wie wir im Texte angenommen haben, daß ſie es an der imaginären hohlen Himmelskugel ſind. Wenn die ganze Oberfläche der Netzhaut durch Licht erregt wird, ſo verbinden wir ſie aus Gewohnheit mit der Idee einer wirklichen außer uns exiſtirenden Oberfläche. Dadurch bildet ſich in uns der Begriff eines Firmamentes und eines Himmels, aber die concave Oberfläche der Netzhaut ſelbſt iſt der eigentliche Sitz aller ſichtbaren Winkeldimenſion und Winkelbewegung. Die Netzhaut dem Himmelsgewölbe zu ſubſtituiren, würde linkiſch und unpaſſend in der Sprache ſeyn, aber im Geiſte kann man es jederzeit thun. (Siehe Schiller's herrliches Räthſel über das Auge in ſeiner Turandot.)

den man bei einer beträchtlichen Ortsveränderung macht, in Erſtaunen und Unmuth geräth. Eine Stunde Weges z. B. bringt nur eine kleine parallactiſche Veränderung in den relativen Lagen der großen und entfernten Maſſen hervor, die uns umgeben. Das entfernte Panorama gewährt uns faſt denſelben Anblick, ob wir einen Kreis von hundert Ellen Durchmeſſer durchwandern, oder uns blos im Mittelpunkte deſſelben umdrehen: wir werden unſern Geſichtspunkt kaum verändert zu haben ſcheinen.

71) Welchen Begriff wir in andern Hinſichten von den Sternen auch haben mögen, ſo iſt es doch ganz klar, daß ſie unermeßlich entfernt ſein müſſen. Wäre dieſes nicht der Fall, ſo würde der ſcheinbare Winkelabſtand zwiſchen zwei Sternen, hoch am Himmel geſehen, weit größer ſeyn, als wenn wir dieſelben am Horizonte erblicken, und die Sternbilder würden, ſtatt dieſelben Formen und Dimenſionen während ihres ganzen Tagekreiſes zu behalten, deſto größer werden, je höher ſie am Himmelsgewölbe empor ſteigen, ſo wie wir eine kleine Wolke am Horizonte zu einem großen überſchattenden Baldachin ſich ausbreiten ſehen, wenn ſie vom Winde durch unſer Zenith getrieben wird; oder, wie man aus Fig. 8. erſehen kann, wo ab, AB, ab drei verſchiedene Stände derſelben Sterne ſind, wie ſie, in der Nähe der Erde, von einem Beobachter S unter den Sehwinkeln aSb, ASB erblickt werden würden. Es wird indeſſen keine ſolche Veränderung der ſcheinbaren Dimenſion der Sternbilder bemerkt. Die genaueſten Meſſungen des ſcheinbaren Winkelabſtandes von zwei Sternen unter ſich in irgend einem Theile ihres Tagkreiſes (nachdem die ungleichen Wirkungen der Refraction berückſichtigt worden ſind, oder wenn die Meſſungen in ſolchen Momenten angeſtellt werden, wo dieſe Urſache der Veränderung auf beide gleichmäßig einwirkt) laſſen nicht die geringſte bemerkbare Veränderung entdecken. Aber noch außerdem ſind auch die Reſultate abſolut identiſch, auf welchem Punkte der Erdoberfläche die Meſſung angeſtellt werden möge. Kein einziges bis jetzt von Menſchen erfundenes Inſtrument

iſt fein genug, um durch eine Zunahme oder Abnahme des Winkelabſtandes anzuzeigen, daß ein Punkt der Erde den Sternen näher oder entfernter liegt, als ein anderer.

72) Als nothwendige Folgerung ergiebt ſich hieraus, daß die Dimenſionen der Erde, ſo groß ſie auch ſind, doch verhältnißmäßig nichts ſind und abſolut unbemerkbar, wenn ſie mit dem Raume verglichen werden, welcher die Sterne von der Erde trennt. Wenn ein Beobachter einen Kreis von nicht mehr als einigen Ellen Durchmeſſer durchwandert, und von verſchiedenen Punkten ſeines Umfanges aus mit einem Sextanten, oder einem andern für dieſen Zweck geeigneten noch genauern Inſtrumente, die Winkel PAQ, PBQ, PCQ (Fig. 9.) mißt, welche an dieſen Standorten durch zwei feſte Punkte P, Q ſeines Horizontes gebildet werden, ſo wird er mit einemmale, durch die Differenz der Reſultate, die Veränderung ſeiner Entfernung von ihnen, in Folge ſeiner Ortsveränderung, erfahren, obſchon dieſe Differenz ſo klein ſeyn mag, daß das bloße Auge im allgemeinen Anblick der beiden Punkte keine Veränderung zu entdecken im Stande iſt. Dieſes iſt einer der unzähligen Fälle, in welchen genaue Meſſung mit Hülfe von Inſtrumenten uns, hinſichtlich der wahren Sachlage und der daraus abzuleitenden Folgerungen, zu ganz anderen Reſultaten kommen läßt, als wir erlangen würden, wenn wir uns in allen Fällen blos auf unſer Augenmaas verlaſſen wollten. Man hat dergleichen Beobachtungen mit Hülfe eines Inſtrumentes, des ſogenannten Theodolits, zu einer ſo großen Genauigkeit gebracht, daß ein Kreis von dem oben erwähnten Durchmeſſer auf dieſe Weiſe merklich gemacht, und ſo entdeckt werden kann, daß er eine Größe und einen feſtzuſetzenden Ort habe, indem man ihn zu Gegenſtänden in Beziehung ſtellt, welche um das Hunderttauſendfache ſeines Durchmeſſers von ihm entfernt ſind. Beobachtungen, die zwar in Anſehung der Methode von den eben angeführten etwas verſchieden, dem Grundſatze nach aber dieſelben ſind, und faſt die nämliche Genauigkeit beſitzen, hat man auf die Sterne angewendet, und ein ſolches Reſultat erhalten, wie oben ſchon erwähnt

worden iſt. Daraus folgt unbeſtreitbar, daß die Entfernung der Sterne von der Erde nicht ſo klein ſeyn könne, als hunderttauſend Erddurchmeſſer. Sie iſt in der That noch ungleich größer; denn wir werden weiter unten völlig dargethan finden, daß die eben erwähnte Entfernung, ſo unermeßlich ſie auch ſchon erſcheinen mag, doch noch viel zu gering angeſchlagen iſt.

73) Einem Beobachter, mit unſeren Sinnen und unſern Inſtrumenten verſehen, würde aus einer ſolchen Entfernung die Erde unbemerkbar ſeyn; und ſo muß auch umgekehrt ein Himmelskörper von der Größe der Erde, in der Entfernung der Sterne, eben ſo unerkennbar ſeyn. Wenn wir deshalb durch den Punkt, auf welchem ein Beobachter ſteht, eine Ebene legen, welche die Erdkugel berührt, und wenn wir dieſelbe in Gedanken bis in die Region der Sterne ausdehnen, und uns durch den Mittelpunkt der Erde eine andere, der erſteren parallele und gerade ſo große, Ebene denken, ſo würden ſie zwar in ihrer ganzen Extenſion um einen gleichen Abſtand, nämlich um den Erdhalbmeſſer, von einander entfernt ſeyn, jedoch aber, wegen der ungeheuern Entfernung, von welcher aus dieſer Abſtand erblickt wird, in der Region der Sterne mit einander confundirt werden und von einem Beobachter auf der Erde nicht mehr zu unterſcheiden ſeyn. Die Zone, welche ſie dort einſchließen, wird ſeinem Auge von verſchwindender Breite ſeyn, und nur einen größten Kreis am Himmel bezeichnen, der gleich dem verſchwindenden Punkte in der Perſpective, welchem alle parallelen Linien in einem Gemälde als convergirend erſcheinen, in der That die verſchwindende Linie bildet, welcher alle dem Horizonte parallel laufenden Ebenen eine ähnliche Erſcheinung völliger Convergenz in dem großen Panorama der Natur darbieten.

74) Die zwei eben beſchriebenen Ebenen heißen in der Aſtronomie der ſcheinbare und der wahre Horizont des Standpunktes des Beobachters; und der größte Kreis am Himmel, welcher ihre verſchwindende Linie bezeichnet, wird auch als ein Kreis der Himmels-

kugel unter dem Namen des Himmelshorizontes, oder einfach des Horizontes, aufgeführt.

Aus dem, was Art. 72. über die Entfernung der Sterne geſagt worden iſt, ergiebt ſich, daß, wenn wir uns einen Beobachter im Mittelpunkte der Erde denken, deſſen Geſichtskreis vom wahren Horizonte auf dieſelbe Weiſe begrenzt wird, wie derjenige eines entſprechenden Beobachters auf der Oberfläche vom ſcheinbaren Horizonte, die beiden Beobachter dieſelben Sterne in denſelben relativen Lagen ſehen werden, indem jeder diejenige ganze Halbkugel des Himmels erblickt, welche über dem, ihrem gemeinſchaftlichen Zenith entſprechenden Himmelshorizonte ſich befindet.

75) Nun iſt es offenbar einerlei in Bezug auf die Erſcheinungen, ob der Himmel, d. h. der ganze Raum mit ſeinem Inhalte, ſich um einen Beobachter dreht, welcher im Mittelpunkte der Erde ruht, oder ob ſich dieſer Beobachter in der entgegengeſetzten Richtung auf ſeinem Platze einfach umdreht, und die Erſcheinungen nach einander betrachtet. Der Anblick des Himmels, auf des Beobachters Horizont bezogen (von dem man annehmen muß, daß er ſich mit ihm dreht), wird in beiden Fällen in jedem Augenblicke der nämliche ſeyn. Und da auch, wie bereits dargethan worden iſt, die Erſcheinungen, inſofern ſie die Sterne betreffen, für einen Beobachter auf der Oberfläche, wie für einen im Mittelpunkte, ganz gleich ſind, ſo folgt daraus, mögen wir nun annehmen, der Himmel drehe ſich außerhalb der Erde herum, oder die Erde innerhalb des Himmels in der entgegengeſetzten Richtung, daß hierdurch die täglichen Erſcheinungen deſſelben für alle Bewohner der Erde in keiner Hinſicht verſchieden ſeyn werden.

76) Das Copernikaniſche Syſtem nimmt die letztere Erklärung dieſer Erſcheinungen als die richtige an, und vermeidet dadurch die Nothwendigkeit, die beſchwerliche Einrichtung einer feſten aber unſichtbaren Kugel anzunehmen, an welcher man ſich die Sterne befeſtigt denken müßte, damit ſie, ohne Störung ihrer relativen Lagen gegeneinander, um die Erde herum geführt werden könnten. Eine ſolche Einrichtung

würde allerdings ausreichend ſeyn, um die tägliche Umdrehung der Sterne dem Scheine nach zu erklären; aber die Bewegungen der Sonne und des Mondes, ſo wie auch diejenigen der Planeten, vertragen ſich nicht mit einer ſolchen Annahme, wie ſich ergeben wird, wenn wir näher von dieſen Himmelskörpern handeln. Daß dagegen eine ſphäriſche Maſſe von mäßigen Dimenſionen (oder vielmehr von verſchwindender Größe, wenn man ſie mit dem ſie umgebenden und ſichtbaren Univerſum vergleicht), eine Maſſe, welche von keiner Feſſel gehalten wird, und ſich frei bewegen und umdrehen kann, dieſes letztere auch wirklich thue, den allgemeinen Geſetzen gemäß, welche, ſo viel wir wiſſen, die Bewegungen aller materiellen Körper reguliren, — iſt ſo wenig eine ſchwierige Vorausſetzung, daß es vielmehr als ein Wunder betrachtet werden müßte, wenn ſich die Sache anders verhalten ſollte. Wir wollen dieſes deshalb von nun an als einen Forderungsſatz betrachten; und da in der Folge dieſes Werkes aus dem, was wir an andern Himmelskörpern beobachten, ſich Analogieen zur Unterſtützung deſſelben darbieten, ſo werden wir alsdann nicht ermangeln, den Leſer darauf aufmerkſam zu machen. Inzwiſchen wird es zweckmäßig ſeyn, eine Menge von Ausdrücken zu erklären, die in der Folge beſtändig gebraucht werden.

77) Erſte Erklärung. Die Axe der Erde iſt derjenige Durchmeſſer, um welchen ſie ſich mit einer gleichförmigen Bewegung von Weſten nach Oſten umdreht, indem ſie eine ganze Umdrehung in demjenigen Zeitraume vollendet, welcher verfließt, bis ein Stern, von einem gewiſſen Punkte am Himmel ausgehend, zu dem nämlichen Punkte zurückgekehrt iſt.

78) Zweite Erklärung. Die Pole der Erde ſind die Punkte, in denen die Erdaxe die Oberfläche trifft. Der Nordpol iſt derjenige, welcher Europa am nächſten, und der Südpol derjenige, welcher von ihm am entfernteſten iſt.

79) Dritte Erklärung. Die Himmelskugel oder die Sternkugel iſt eine imaginäre ſphäriſche Oberfläche von unendlichem Radius, und ihr Mittel-

punkt iſt der Mittelpunkt der Erde, oder, was auf eins hinauskommt, das Auge eines jeden Beobachters auf der Oberfläche derſelben. Jeder Punkt in dieſer Sphäre kann, in der Perſpective von der Erde aus geſehen, als der verſchwindende Punkt eines Syſtems von Linien betrachtet werden, die mit demjenigen Radius der Kugel parallel laufen, der durch dieſen Punkt geht; und jeder größte Kreis an derſelben als die verſchwindende Linie eines Syſtems von Ebenen, die mit ſeiner eignen parallel laufen. Dieſe Art, ſich dergleichen Punkte und Kreiſe vorzuſtellen, gewährt in einer Menge von Fällen große Vortheile.

80) Vierte Erklärung. Das Zenith und Nadir*) ſind die beiden Punkte der Himmelskugel, ſenkrecht über dem Scheitel des Beobachters und ſenkrecht unter ſeinen Füßen; ſie ſind deshalb die verſchwindenden Punkte aller Linien, welche der Richtung eines Bleilothes am Standpunkte des Beobachters mathematiſch parallel laufen. Das Bleiloth ſelbſt fällt an jedem Punkte der Erde perpendiculär auf die ſphäriſche Oberfläche derſelben, und man kann daher die wirklichen Richtungen zweier Bleilothe an zwei Standpunkten nicht als mathematiſch parallel betrachten. Sie convergiren gegen den Mittelpunkt der Erde; aber für ſehr kleine Zwiſchenräume (wie z. B. in dem Raume eines Gebäudes, in einer und derſelben Stadt u. ſ. w.) iſt die Abweichung vom genauen Parallelismus ſo gering, daß man ſie in der Praxis ganz außer Acht laſſen kann. Ein Zwiſchenraum von einer Meile entſpricht einer Convergenz der Bleilothe von etwa einer Minute. Das Zenith und Nadir ſind die Pole des Himmelshorizontes, folglich Punkte, die von jedem Punkte dieſes Horizontes um 90 Grade entfernt ſind. Der Himmelshorizont ſelbſt iſt die verſchwindende Linie eines Syſtems von Ebenen, welche dem ſcheinbaren und dem wahren Horizonte parallel ſind.

81) Fünfte Erklärung. Vertikalkreiſe der

*) Von arabiſchen Worten. Nadir entſpricht offenbar dem deutſchen nieder.

Kugel ſind größte Kreiſe, welche durch das Zenith und Nadir gehen, oder auch größte Kreiſe, welche auf dem Horizonte ſenkrecht ſtehen. Auf dieſen werden die Höhen der Objecte über dem Horizonte gemeſſen; die Ergänzungen dieſer Höhen zu 90 Graden ſind die Zenithabſtände der Objecte.

82) Sechſte Erklärung. Die Pole des Himmels ſind die Punkte der Himmelskugel, gegen welche die Erdaxe gerichtet iſt, oder auch die verſchwindenden Punkte aller mit der Erdaxe parallel laufenden Linien.

83) Siebente Erklärung. Der Erdäquator iſt ein größter Kreis auf ihrer Oberfläche, gleichweit abſtehend von ihren Polen, welcher die Erde in zwei Halbkugeln, eine nördliche und eine ſüdliche, theilt, in deren Mitte die betreffenden Erdpole gleiches Namens liegen. Die Ebene des Aequators iſt alſo auf der Erdaxe ſenkrecht, und geht durch den Mittelpunkt der Erde. Der Aequator des Himmels, iſt ein größter Kreis am Himmel, welcher beſchrieben wird durch die unendliche Extenſion der Ebene des Erdåquators, und er iſt die verſchwindende Linie aller mit ihm parallel laufenden Ebenen. Dieſen Kreis nennen die Aſtronomen auch den Aequinoctialkreis.

84) Achte Erklärung. Der Erdmeridian eines Standpunktes auf der Oberfläche der Erde iſt ein größter Kreis, welcher durch beide Pole und den fraglichen Standpunkt geht. Extendirt man die Ebene deſſelben bis an die Himmelskugel, ſo beſchreibt ſie den Himmelsmeridian eines an jenem Standpunkte befindlichen Beobachters. Wenn wir von dem Meridian eines Beobachters ſprechen, ſo verſtehen wir darunter den Himmelsmeridian, welches ein durch die Pole des Himmels gehender Vertikalkreis iſt.

Die Ebene des Meridians iſt die Ebene dieſes Kreiſes und ihr Durchſchnitt mit dem ſcheinbaren Horizonte des Beobachters heißt eine Mittagslinie, und bezeichnet den Mitternachts = und Mittagspunkt ſeines Horizontes.

85) Neunte Erklärung. Das Azimuth iſt der Winkelabſtand eines Himmelskörpers von dem Mit=

ternachts- oder Mittagspunkte des Horizontes (je nachdem der Nord- oder der Südpol über dem Horizont erhaben iſt), wenn nämlich der Himmelskörper durch einen Vertikalkreis auf den Horizont bezogen wird; oder es iſt der Winkel zwiſchen zwei Vertikalebenen, von denen die eine durch den erhabenen Pol, die andere durch den Himmelskörper gelegt iſt. Wenn demnach die Höhe und das Azimuth eines Himmelskörpers bekannt ſind, ſo iſt damit ſein Ort am ſichtbaren Himmel beſtimmt. Für die gleichzeitige Meſſung der Höhe und des Azimuths iſt ein beſonderes Inſtrument erfunden worden, das ſogenannte Höhen- und Azimuthalinſtrument, welches im nächſten Capitel beſchrieben werden ſoll.

86) Zehnte Erklärung. Die Breite eines Ortes auf der Erdoberfläche iſt ſein Winkelabſtand vom Aequator, auf ſeinem eigenen Erdmeridiane gemeſſen. Sie wird berechnet nach Graden, Minuten und Sekunden 0° bis 90°, und iſt nördlich oder ſüdlich, je nach der Halbkugel, auf welcher der Ort liegt. So liegt z. B. die Sternwarte zu Greenwich unter 51° 28′ 40″ nördlicher Breite. Dieſe Erklärung der Breite iſt, wie bemerkt werden muß, nur als vorläufig zu betrachten. Eine genauere Kenntniß der phyſiſchen Structur und Geſtalt der Erde, und eine beſſere Bekanntſchaft mit den Subtilitäten der Aſtronomie, wird eine Modification dieſes Ausdrucks, oder eine andere Art, ihn aufzufaſſen, nothwendig machen.

87) Eilfte Erklärung. Parallelkreiſe der Breite ſind kleine Kreiſe auf der Erdoberfläche, welche mit dem Aequator parallel laufen. Jeder Punkt in ſolch einem Kreiſe hat die nämliche Breite. So ſagt man z. B., Greenwich liege in dem Parallelkreiſe von 51° 28′ 40″.

88) Zwölfte Erklärung. Die Länge eines Ortes auf der Oberfläche der Erde iſt die Neigung ſeines Meridianes gegen denjenigen eines beſtimmten Ortes, von welchem aus man rechnen will. Engliſche Aſtronomen und Geographen nehmen die Sternwarte zu Greenwich als einen ſolchen beſtimmten Ort an, Aus-

länder die Hauptſternwarten ihrer reſpectiven Nationen. Einige Geographen haben dazu die Inſel Ferro gewählt. Wenn wir in der Folge dieſes Werkes von der Länge eines Ortes ſprechen, ſo rechnen wir dieſelbe von Greenwich an. Die Länge eines Ortes wird alſo durch den Bogen des Aequators gemeſſen, welcher zwiſchen dem Meridiane des Ortes und demjenigen von Greenwich enthalten iſt, oder, was auf eins hinauskommt, durch den ſphäriſchen Winkel am Pol, welcher von dieſen beiden Meridianen eingeſchloſſen wird.

So wie man die Breite nördlich oder ſüdlich annimmt, ſo pflegt man die Länge weſtlich oder öſtlich anzunehmen. Es würde indeſſen zu einer größern ſyſtematiſchen Regelmäßigkeit führen, und gar ſehr dazu beitragen, bei Berechnungen Verwirrung und Zweideutigkeit zu vermeiden, wenn man dieſe Art, die Längen auszudrücken, aufgeben, und ſie immer weſtlich von ihrem Anfangspunkte an durch den ganzen Umkreis von 0° bis zu 360° rechnen wollte. So beträgt z. B. die Länge von Paris, nach dem gewöhnlichen Ausdrucke entweder 2° 20′ 22″ öſtlich, oder 357° 39′ 38″ weſtlich, von Greenwich. Aber in dem Sinne, in welchem wir von nun an den Ausdruck Länge anwenden werden, und auch Andern anzuwenden rathen, iſt die letztere die richtige Bezeichnung. Man berechnet die Länge auch nach Zeit, im Verhältniſſe von 24 Stunden auf 360 Grad, oder 15 Grad auf die Stunde. Nach dieſer Art zu rechnen, beträgt die Länge von Paris 23 Stunden, 50 M., 38 ½ S.

89) Kennt man die Länge und Breite eines Ortes, ſo kann man denſelben auf eine künſtliche Kugel auftragen, und auf dieſe Weiſe eine Erdcharte conſtruiren. Charten beſonderer Länge ſind abgeriſſene Theile dieſer allgemeinen Charte, zu Ebenen ausgebreitet; oder ſie ſind vielmehr Darſtellungen ſolcher Erdtheile auf Ebenen, wobei man nach gewiſſen conventionellen Syſtemen von Regeln, Projectionen genannt, verfährt, und ſich bemüht, die Umriſſe der Länder, wie ſie ſich auf der Kugel präſentiren, ſo wenig als möglich zu verzerren, oder auch leichte Mittel an die Hand zu ge-

ben, nach dem Augenmaaße oder durch graphiſche Meſſung die Breiten und Längen der vorkommenden Orte auszumitteln, ohne zum Globus oder zu Büchern ſeine Zuflucht nehmen zu müſſen; oder ſie ſind zu andern beſondern Zwecken beſtimmt. Siehe Cap. 3.

90) Ein Globus oder eine allgemeine Charte des Himmels, wie auch Charten beſonderer Theile, können ebenfalls ausgeführt, und die Sterne nach ihren eigenthümlichen relativen Lagen zu einander, ſo wie zu den Himmelspolen und dem Himmelsäquator, eingetragen werden. Eine ſolche Darſtellung gewährt, wenn ſie vollendet iſt, eine richtige Erſcheinung der Sterne, wie ſie ſich, der Reihe nach, jedem Beobachter auf der Erdoberfläche darſtellen, oder auch wie ſie ein Beobachter im Mittelpunkte der Kugel auf einmal erblicken würde. Sie iſt deshalb unabhängig von allen geographiſchen Localitäten. In einer ſolchen Darſtellung kommt weder Zenith, noch Nadir, noch Horizont, noch Oſt- noch Weſtpunkt vor; und obſchon man auf derſelben größte Kreiſe von Pol zu Pol, den Erdmeridianen entſprechend, ziehen kann, ſo können ſie doch, in dieſer Hinſicht, nicht mehr als die Himmelsmeridiane feſter Punkte auf der Erdoberfläche betrachtet werden, da während einer täglichen Umdrehung der Erde ein jeder ſolcher Punkt unter jedem von ihnen fortrückt. Wegen dieſer Veränderung der Vorſtellung, und um einen vollkommenen Unterſchied zwiſchen den beiden Zweigen der Geographie und Uranographie*) feſtzuſtellen, haben die Aſtronomen andere Ausdrücke angenommen (nämlich Abweichung oder Declination und gerade Aufſteigung oder Rectaſcenſion), um diejenigen Bogen am Himmel zu bezeichnen, welche den Breiten und Längen auf der Erdkugel entſprechen. Aus dieſem Grunde nennen ſie den Aequator des Himmels den Aequinoctialkreis; was auf der Erdkugel Meridiane ſind, nennt man am Himmel Stun-

---

*) Γη, die Erde; γραφειν, beſchreiben; οὔρανος, der Himmel.

denkreiſe, und die Winkel, welche ſie an den Polen einſchließen, heißen Stundenwinkel. Alles dieſes iſt zweckmäßig und verſtändlich; und hätte man ſich mit dieſer Nomenclatur begnügt, ſo würde niemals Verwirrung entſtanden ſeyn. Leider haben aber die frühern Aſtronomen auch die Worte „Breite“ und „Länge“ in ihrer Uranographie angewendet, nicht um Kreisbogen zu bezeichnen, die denen entſprechen, welche man unter dieſen Worten auf der Erde verſteht, ſondern vielmehr ſolche, welche ſich auf die Bewegung der Sonne und Planeten unter den Sternen beziehen. Es iſt jetzt zu ſpät, dieſer Verwirrung abzuhelfen, welche in jedes Werk über Aſtronomie übergegangen iſt. Wir können in dieſer Hinſicht nur unſer Bedauern ausſprechen, und den Leſer erinnern, aufmerkſam zu ſeyn, wenn wir in der Folge dieſes Werkes Gelegenheit bekommen werden, dieſe Ausdrücke zu erklären und in ihrer Bedeutung am Himmel anzuwenden, wobei wir künftigen Schriftſtellern es zugleich dringend ans Herz legen, ſtatt dieſer Ausdrücke andere zu wählen.

91. So wie die terreſtriſchen Längen von einem angenommenen fixen Meridian, oder von einem beſtimmten Punkte im Aequator, gerechnet werden, ſo verlangen auch die Rectaſcenſionen am Himmel einen beſtimmten Stundenkreis, oder einen bekannten Punkt im Aequinoctialkreiſe, für den Anfang ihrer Zählung, oder ihren Nullpunkt. Man hätte den Stundenkreis wählen können, welcher durch irgend einen auffallend glänzenden Stern geht; aber es würde damit nichts Beſonderes gewonnen worden ſeyn, und die Aſtronomen haben daher vorzugsweiſe einen Punkt im Aequinoctialkreiſe gewählt, welcher der Nachtgleichenpunkt heißt, durch den, wie ſie annehmen, derjenige Stundenkreis geht, von wo aus alle anderen gerechnet werden, und welcher Punkt ſelbſt der Nullpunkt aller auf dem Aequinoctialkreiſe gezählten Rectaſcenſionen iſt.

Die Rectaſcenſionen der Himmelskörper werden immer vom Nachtgleichenpunkte aus nach Oſten zu gezählt, und entweder in Graden, Minuten und Secunden, wie bei den terreſtriſchen Längen, von 0° bis

zu 360°, die den ganzen Umkreis ausmachen, oder, nach Zeit, in Stunden, Minuten und Secunden von 0 Stunde bis zu 24 Stunden ausgedrückt. Da die ſcheinbare tägliche Bewegung des Himmels der wirklichen Bewegung der Erde entgegengeſetzt iſt, ſo ſteht dieſes mit dem Zählen der Längen in weſtlicher Richtung (Art. 88.) völlig im Einklange.

92) Die Sternzeit wird nach der täglichen Bewegung der Sterne, oder vielmehr von dem Punkte im Aequinoctialkreiſe angerechnet, von welchem aus man die Rectaſcenſionen zählt.

Dieſen Punkt kann man als einen Stern betrachten, obſchon in der That kein Stern daſelbſt befindlich iſt; und überdieß unterliegt dieſer Punkt ſelbſt einer gewiſſen kleinen Veränderung, die indeſſen ſo gering iſt, daß ſie auf keine merkliche Weiſe den Zeitraum zwiſchen zwei auf einander folgenden Durchgängen deſſelben durch den Meridian afficirt. Dieſer Zeitraum heißt ein Sterntag; er wird in 24 Sternſtunden, und dieſe werden wiederum in Minuten und Secunden eingetheilt. Eine Uhr, welche die Sternzeit angiebt, d. h. welche gleichförmig einen ſolchen Gang hat, daß ſie immer 0 Stunden, 0 Minuten, 0 Secunden zeigt, wenn der Nachtgleichenpunkt in den Meridian tritt, heißt eine Sternuhr, und iſt ein ganz unentbehrliches Werkzeug auf jeder Sternwarte.

93) Es bleibt nun noch übrig, dieſe Beſchreibungen durch eine Figur zu erläutern. Es ſey C (Fig. 10.) der Mittelpunkt der Erde und N C S ihre Axe, ſo ſind N und S ihre Pole und E Q ihr Aequator; A B iſt der Parallelkreis der Breite des Standpunktes A auf ihrer Oberfläche; A P, parallel S C N, iſt die Richtung, in welcher ein Beobachter bei A den erhabenen Pol des Himmels ſieht; und A Z, die Verlängerung des Erdhalbmeſſers C A, iſt die Richtung ſeines Zeniths. N A E S wird ſein Meridian ſeyn; N G S der Meridian eines beſtimmten Standpunktes z. B. der von Greenwich; folglich G E, oder der ſphäriſche Winkel G N E, die Länge, und E A die Breite des Standpunktes A. Iſt nun n s eine Ebene, welche

die Oberfläche der Erde in A berührt, ſo wird dieſe ſein ſcheinbarer Horizont ſeyn; die Linie nAs, welche der Durchſchnitt dieſer Ebene mit ſeinem Meridiane auf erſterer bildet, wird ſeine Mittagslinie, und n und s werden die Nord- und Südpunkte ſeines Horizontes ſeyn.

94) Die Größe der Erde nun aber ganz bei Seite geſetzt, oder den Standpunkt des Beobachters im Mittelpunkte der Erde angenommen, und alles auf den wahren Horizont bezogen, möge Fig. 11. die Himmelskugel vorſtellen, C den Beobachter, Z deſſen Zenith und N deſſen Nadir; ſo wird HAO, ein größter Kreis der Kugel, deſſen Pole Z und N ſind, ſein Himmelshorizont ſeyn. P der erhabene, und p der deprimirte Weltpol; HP die Polhöhe, und HPZEO ſein Meridian; ETQ, ein größter Kreis ſenkrecht auf Pp, wird der Aequinoctialkreis ſeyn; und wenn Y den Nachtgleichenpunkt bezeichnet, ſo wird YT die Rectaſcenſion, TS die Declination und PS der Polarabſtand eines Sternes, oder Himmelskörpers S ſeyn, der durch den Stundenkreis PSTp auf den Aequinoctialkreis bezogen wird; und BSD wird der Tagekreis ſeyn, welchen der Stern um den Pol beſchreibt. Beziehen wir ihn durch den Vertikalkreis ZSM auf den Horizont, ſo wird HM ſein Azimuth, MS ſeine Höhe, und ZS ſein Zenithabſtand ſeyn. H und O ſind der Nord- und Südpunkt, e und w der Oſt- und Weſtpunkt ſeines Horizontes oder des Himmels. Sind nun Hh und Oo kleine Kreiſe, oder Parallelkreiſe der Declination, welche den Horizont in ſeinen Nord- und Südpunkten berühren, ſo wird Hh der Kreis der beſtändigen Sichtbarkeit ſeyn, und alle zwiſchen demſelben und dem erhabenen Pole befindlichen Sterne werden niemals untergehen; eben ſo wird Oo der Kreis der beſtändigen Verborgenheit ſeyn, und alle zwiſchen ihm und dem deprimirten Pole liegenden Sterne werden niemals aufgehen. In der ganzen Zone des Himmels zwiſchen Hh und Oo gehen die Sterne auf und unter, ſo daß z. B. ein Stern S in demjenigen Theile ſeines

Tagekreiſes, welcher durch a B A bezeichnet iſt, über dem Horizonte und in dem Theile A D a unter dem Horizonte ſich befindet. Es wird zur Uebung des Leſers dienen, dieſe Figur für mehrere verſchiedene Polhöhen, und für verſchiedene Lagen des Sternes S in jeder derſelben, zu conſtruiren. Aus dieſen Erklärungen ergeben ſich nachſtehende Folgerungsſätze, welche der Leſer leicht auffaſſen wird. —

95) Die Höhe des erhabenen Poles iſt gleich der Breite des geographiſchen Standpunktes des Beobachters. Denn vergleicht man die Figuren der Art. 93. und 94. (Fig. 10. und 11.), ſo ergiebt ſich, daß der Winkel zwiſchen dem Pole und Zenith (PAZ in der einen, und PCZ in der andern Figur), welcher das Complement oder die Ergänzung der Polhöhe zu 90° iſt, gleich iſt dem Winkel NCA in der erſten Figur, indem CN und AP Parallellinien ſind, deren verſchwindender Punkt der Pol iſt. Nun iſt aber NCA das Complement der Breite des Standpunktes A zu 90°.

96) Dieſelben Sterne kommen, bei ihrem täglichen Umlauf, ſucceſſiv in den Meridian jedes Ortes auf der Erdkugel, und zwar in 24 Sternſtunden einmal. Und da der tägliche Umlauf gleichförmig iſt, ſo wird der Zeitraum in Sternzeit, welcher verfließt, bis derſelbe Stern von dem Meridiane eines Ortes zu dem eines andern kommt, durch die Differenz der Ortslängen gemeſſen.

97) Umgekehrt iſt die Zwiſchenzeit, welche zwiſchen dem Durchgang zweier verſchiedenen Sterne durch den Meridian eines und deſſelben Ortes verfließt, in Sternzeit ausgedrückt, das Maas der Differenz der Rectaſcenſionen dieſer Sterne.

Darin liegt der Grund der doppelten Eintheilung des Aequators und des Aequinoctialkreiſes in Grade und Stunden.

98) Der Aequinoctialkreis ſchneidet den Horizont in den Oſt- und Weſtpunkten, und den Meridian in einem Punkte, deſſen Höhe gleich iſt der Ergänzung der Ortsbreite. So beträgt z. B. zu Greenwich die Höhe des Durchſchnittspunktes des Aequinoctialkreiſes und Meridianes 38° 31′ 20″.

99) Alle Himmelskörper culminiren (d. i. ſie erlangen ihre größten Höhen) im Meridian. Dieſes iſt deshalb die beßte Stellung, um ſie zu beobachten, weil ſie hier die wenigſten Störungen von den Ungleichheiten und Dünſten der Atmoſphäre erleiden, auch ihr Ort durch die Strahlenbrechung am wenigſten verrückt wird.

100) Alle Himmelskörper innerhalb des Kreiſes der beſtändigen Sichtbarkeit kommen, bei jedem täglichen Umlaufe, zweimal über dem Horizonte in den Meridian, einmal über und einmal unter dem Pole. Dieſes ſind ihre oberen und unteren Culminationen.

101) Wir wollen dieſes Capitel damit ſchließen, daß wir die Aufmerkſamkeit des Leſers auf eine Thatſache lenken, über die er, wenn er ſie hier zum erſtenmale erfährt, ſich unfehlbar wundern wird, nämlich, daß die Sterne durch Fernröhre am Tage eben ſo wohl, als des Nachts, beſtändig ſichtbar ſind, und daß man, im Verhältniße zur optiſchen Kraft des Inſtrumentes, nicht allein die größten und glänzendſten derſelben, ſondern ſogar diejenigen von geringerem Glanze und ſolche, welche dem bloßen Auge des Nachts ſich kaum bemerkbar machen, ſelbſt zur Mittagszeit leicht auffinden und verfolgen kann (außer in demjenigen Theile des Himmels, welcher der Sonne ſehr nahe liegt), ſobald man nur die Mittel beſitzt, ein Fernrohr genau nach den gehörigen Stellen zu richten. Ja man kann ſogar ſolche helle Sterne, welche durch das Zenith gehen, vom Boden ſehr tiefer, enger Gruben, z. B. aus einem Brunnen, oder aus dem Schachte eines Bergwerkes, mit unbewaffneten Augen erkennen, und der Verfaſſer hat es ſelbſt aus dem Munde eines berühmten Optikers vernommen, daß die erſte Veranlaſſung, die ſeine Aufmerkſamkeit auf die Aſtronomie lenkte, die regelmäßige Wahrnehmung eines bedeutenden Sternes durch die Röhre eines Schornſteins mehre Tage nacheinander zu einer gewiſſen Stunde, geweſen ſey.

Zweites Capitel.

Von der Natur der aſtronomiſchen Inſtrumente und von den Beobachtungen im Allgemeinen. — Von Stern- und Sonnenzeit. — Von der Zeitmeſſung. — Pendeluhren, Chronometer, Mittagsfernrohr. — Von der Meſſung der Winkelabſtände. — Anwendung des Fernrohrs bei Inſtrumenten, die zur Meſſung der Winkel beſtimmt ſind. — Vom Mauerkreiſe. — Beſtimmung der Polar- und Horizontalpunkte an demſelben. — Waſſerwaage. — Bleiloth. — Künſtlicher Horizont. — Collimator. — Von zuſammengeſetzten Inſtrumenten mit coordinirten Kreiſen. — Das Aequatoreal. — Das Azimuthal- und Höheninſtrument. — Vom Sextanten und Reflexionskreiſe. — Princip der Repetition oder Multiplication der Winkel.

102) Unſer erſtes Capitel iſt hauptſächlich der Erwerbung vorläufiger Begriffe von der Kugel, auf welcher wir wohnen, von ihrer Beziehung zu den ſie umgebenden Himmelskörpern, und von den phyſiſchen Umſtänden, unter welchen alle aſtronomiſchen Beobachtungen angeſtellt werden müſſen, wie auch dem Zwecke gewidmet geweſen, eine Menge t e ch n i ſ ch e r A u s d r ü ck e kennen zu lernen, die in der Folge ſehr häufig und gewöhnlich vorkommen. Wir könnten nun zu einer genauern und ausführlichern Auseinanderſetzung der Thatſachen und Theorien in der Aſtronomie übergehen; um dieſes aber mit dem beßten Erfolge zu thun, iſt es

wünſchenswerth, daß der Leſer mit den Hauptmitteln bekannt werde, welche die Aſtronomen beſitzen, um mit demjenigen Grade von Genauigkeit, den ihre Theorieen erheiſchen, die Data zu beſtimmen, auf welche ſie ihre Folgerungen gründen, d. h. mit andern Worten, durch Meſſung die ſcheinbaren und wirklichen Größen auszumitteln, mit welchen ſie ſich beſchäftigen. Nur wenn er ſich im Beſitze dieſer Kenntniße befindet, kann er vollkommen entweder die Wahrheit der Theorieen ſelbſt, oder den Grad des Vertrauens ermeſſen, welches man, vor näherer Prüfung, auf irgend eine ihrer Folgerungen ſetzen darf; denn nur, wenn er weiß, welchen Betrag eines Fehlers man zuverläſſig bemerken und ſcharf meſſen kann, iſt er im Stande, ſich zu überzeugen, ob eine Theorie in ihren numeriſchen Ergebniſſen eine ſo genaue Annäherung an die wirklichen Erſcheinungen gewährt, daß er berechtigt iſt, ſie als eine wahrhafte Darſtellung der Natur anzunehmen.

103) Die Verfertigung der aſtronomiſchen Inſtrumente kann man mit Recht, unter den mechaniſchen Künſten, als die am höchſten verfeinerte und als diejenige betrachten, in welcher die größte Annäherung an geometriſche Genauigkeit erfordert wird, und auch wirklich erreicht worden iſt. Wer mit den erforderlichen Subtilitäten nicht bekannt iſt, kann es zwar für leicht halten, einen Kreis aus Metall zu drehen, ſeine Peripherie in 360 gleiche Theile und dieſe wieder in kleinere Unterabtheilungen zu theilen, ihn genau zu centriren, und für eine gegebene Stellung ſcharf zu berichtigen; aber in der Praxis findet es ſich, daß dieſes eine der ſchwierigſten Aufgaben iſt. Dieſes wird auch keinen befremden, ſobald man in Erwägung zieht, daß, in Folge der Anwendung der Fernröhre für die Zwecke der Winkelmeſſung, jede Unvollkommenheit der Structur, oder der Theilung, durch die ganze optiſche Kraft eines ſolchen Inſtrumentes vergrößert wird; und daß auf dieſe Weiſe nicht allein directe Fehler der Ausführung, welche von Unſicherheit der Hand oder von unvollkommenen Werkzeugen herrühren, ſondern auch diejenigen Ungenauigkeiten, die aus viel weniger zu ver-

meidenden Urſachen entſpringen, — z. B. aus ungleicher Ausdehnung und Zuſammenziehung der Metallmaſſen bei Veränderung der Temperatur, und aus ihrer unvermeidlichen Biegung in Folge ihrer eigenen Schwere, — bemerklich und meßbar werden. Ein Winkel von 1 Minute nimmt auf der Peripherie eines Kreiſes von 10 Zoll Halbmeſſer nur etwa $^1/_{350}$ eines Zolles, mithin eine Quantität ein, welche zu klein iſt, um ohne Anwendung von Vergrößerungsgläſern mit Zuverläſſigkeit behandelt werden zu können; und doch iſt 1 Minute bei der aſtronomiſchen Meſſung eines Winkels ſchon eine anſehnliche Größe. Mit den jetzt auf den Sternwarten gebräuchlichen Inſtrumenten iſt man im Stande, 1 Sekunde, oder den 60ſten Theil einer Minute, deutlich zu erkennen und zu ſchätzen. Nun iſt der Kreisbogen, welchen 1 Secunde einnimmt, weniger, als $^1/_{200{,}000}$ des Halbmeſſers, ſo daß er auf einem Kreiſe von 6 Fuß Durchmeſſer keine größere Linearextenſion hat, als $^1/_{5700}$ Zoll, und um dieſe Quantität nur zu erkennen, bedarf man ſchon eines ſtarken Mikroſkopes. Es kann ſich demnach nun wohl Jeder die Schwierigkeit denken, die damit verbunden iſt, auf die Peripherie eines metallenen Kreiſes von ſolchen Dimenſionen, (angenommen, die Schwierigkeit ſeiner Anfertigung ſey überwunden) 360 erkennbare Zeichen, Punkte oder Theilſtriche zu machen, die innerhalb ſo außerordentlich kleiner Grenzen an ihrer richtigen Stelle ſich befinden; nichts zu erwähnen von den Unterabtheilungen der Grade, die in Minuten und dieſe wieder in Secunden eingetheilt ſind. Ein ſolches Werk iſt wahrſcheinlich der äußerſten Anſtrengung menſchlicher Kunſt- und Betriebſamkeit noch nicht gelungen, und wird auch wahrſcheinlich immer unerreicht bleiben; und ſelbſt, wenn es ausgeführt wäre, könnte es nicht von Dauer ſeyn. Die immer wechſelnden Schwankungen der Wärme und Kälte tragen dazu bei, nicht allein temporäre und vorübergehende, ſondern permanente und ſich nicht ausgleichende Veränderungen der Form in allen beträchtlichen Maſſen derjenigen Metalle hervorzubringen, die allein für ſolche Zwecke anwendbar ſind; und die eigene Schwere der

Inſtrumente, wie ſymmetriſch ſie auch gebaut ſeyn mögen, wird immer ungleichmäßig unterſtützt werden, da es unmöglich iſt, die unterſtützende Kraft an jedem Theile beſonders anzubringen. Und ſelbſt, wenn dieſes geſchehen könnte, ſo muß doch jedenfalls eine gewiſſe Kraft angewendet werden, um die Inſtrumente zu bewegen und zu befeſtigen, was nie geſchehen kann, ohne temporäre, ja vielleicht gar permanente Veränderungen der Form hervorzubringen. Zwar hat man dadurch, daß man die Theilung ſolcher Kreiſe von ihren eigenen Mittelpunkten aus und an denſelben Plätzen veranſtaltet, die ſie für immer behalten ſollen, und noch durch tauſend andere ſinnreiche und feine Erfindungen, in dieſem Theile der Kunſt beinahe Wunder vollbracht, und nicht allein wirklichen Meiſterſtücken, ſondern auch zu gewöhnlichem Gebrauche beſtimmten Inſtrumenten von mäßigen Preiſen und Dimenſionen einen Grad der Vollendung gegeben, der, alles in Anſchlag gebracht, in der That Erſtaunen erregen muß. Aber wenn wir auch berechtigt ſind, aus den Händen wiſſenſchaftlicher Künſtler bewundernswerthe Werke zu erwarten, ſo können wir doch keine wirklichen Wunder von ihnen verlangen. Die Anforderungen des Aſtronomen werden immer das Vermögen des Künſtlers überſchreiten, und es muß deshalb das Streben des erſteren beſtändig darauf gerichtet ſeyn, ſich von den Mängeln jeder Arbeit, die letzterer ihm liefern kann, ſo viel als möglich unabhängig zu machen. Er muß folglich dahin trachten, ſeine Beobachtungen ſo zu combiniren, günſtige Umſtände ſo zu wählen, und ſich mit allen Urſachen, welche irgend eine Veränderung im Inſtrumente hervorbringen könnten, und mit allen Eigenthümlichkeiten der Structur und des Materials eines jeden Inſtrumentes, welches er beſitzt, ſo vertraut zu machen, daß er durch ihre Fehler nicht irre geleitet werden kann, ſondern im Stande iſt, aus ihren Indicationen, ſo weit es möglich iſt, alles Richtige herauszuziehen und das Irrige zu verwerfen. Darin eben beſteht die Kunſt des practiſchen Aſtronomen, — eine Kunſt, die an und für ſich von zarter und verwickelter

Natur iſt, und von welcher wir hier nur einige hauptſächliche und allgemeine Züge angeben können.

104) Da der praktiſche Aſtronom von allen Dingen nach der numeriſchen Richtigkeit der Reſultate der mit den Inſtrumenten angeſtellten Meſſungen ſtrebt; ſo muß ſeine beſtändige Sorge und Wachſamkeit auf die Entdeckung und Ausgleichung der Fehler gerichtet ſeyn, indem er letztere entweder vernichtet, oder ſie in Anſchlag und in Rechnung bringt. Wenn wir nun die Quellen unterſuchen, aus welchen bei irgend einer Inſtrumentalbeſtimmung Fehler entſpringen können, ſo werden wir finden, daß ſie ſich unter drei Hauptrubriken bringen laſſen: —

105) 1. Aeußere oder zufällige Urſachen von Fehlern, worunter ſolche begriffen ſind, die von äußeren, unvermeidlichen Umſtänden herrühren. Hierher gehören z. B. Schwankungen in der Atmoſphäre, welche den Betrag der Refraction, wie man ihn in den Tafeln angegeben findet, verändern, und, da ſie ſich auf kein beſtimmtes Geſetz zurückführen laſſen, Ungewißheit über den Betrag ihrer möglichen Größe erzeugen; ferner ſolche Umſtände, die, mit einer Veränderung der Temperatur der Luft, auch die Form und Stellung der gebrauchten Inſtrumente verändern, weil die relative Größe und die Spannung ihrer Theile durch ſie geändert wird; und noch mehrere andere ähnlicher Art.

106) 2. Fehler der Beobachtung, die z. B. aus Unerfahrenheit, fehlerhaftem Sehen, Langſamkeit im Auffaſſen des eigentlichen Momentes, in welchem eine Erſcheinung eintritt, oder Haſtigkeit im Anticipiren deſſelben u. ſ. w. entſpringen; ferner aus atmoſphäriſcher Undeutlichkeit aus unzulänglicher optiſcher Kraft des Inſtrumentes, und dergleichen mehr. Unter dieſe Rubrik kann man auch alle Fehler bringen, die aus momentanen Verrückungen der Inſtrumente, z. B. aus Verſchiebungen beim Feſtklemmen, aus Lockerheit der Schrauben u. ſ. w. entſtehen.

107) 3. Die dritte und bei weitem die zahlreichſte Claſſe von Fehlern, die bei aſtronomiſchen Meſſungen vorkommen können, entſpringen aus Urſachen, die man

den Inſtrumenten zuſchreiben und wiederum in zwei Hauptclaſſen theilen kann. Die erſte Claſſe umfaßt alle diejenigen Fehler, welche daraus hervorgehen, daß ein Inſtrument nicht ganz das iſt, wofür es ausgegeben wird, was alſo ein Fehler der Ausführung iſt. Hierher iſt zu rechnen, wenn z. B. ein Zapfen oder eine Axe, ſtatt, wie es ſich gehört, genau cylindriſch zu ſeyn, etwas abgeplattet, oder elliptiſch iſt; wenn er nicht genau concentriſch mit dem Kreiſe iſt, den er trågt (was er durchaus ſeyn ſoll); wenn ein ſogenannter Kreis nicht genau kreisförmig iſt, oder nicht in einer Ebene liegt; wenn ſeine Theilungen, die genau gleich weit von einander entfernt ſeyn müſſen, in der Wirklichkeit dieſe Eigenſchaft nicht beſitzen; und noch hundert andere Dinge derſelben Art. Dieſes ſind nicht blos eingebildete Fehlerquellen, ſondern wirkliche Plagen, mit denen jeder Beobachter zu kämpfen hat.

108) Die andere Abtheilung von Fehlern der Inſtrumente umfaßt ſolche, die daraus hervorgehen, daß ein Inſtrument nicht in die Stellung gebracht worden iſt, die es haben ſollte; und daß diejenigen ſeiner Theile, die abſichtlich beweglich gemacht worden ſind, nicht die gehörige Anordnung unter ſich haben. Dieſes ſind Fehler der Aufſtellung. Manche ſind unvermeidlich, indem ſie aus allgemeiner Unſtetigkeit des Bodens, oder des Gebäudes hervorgehen, in welchem die Inſtrumente aufgeſtellt ſind. Dieſer Umſtand, obgleich er zu unbedeutend iſt, um in jeder andern Beziehung Berückſichtigung zu verdienen, kommt doch in Anſchlag bei genauen aſtronomiſchen Beobachtungen. Andere Fehler ſind wiederum Folgen unvollkommener Ausführung, z. B. wenn ein Inſtrument, welches einmal vollkommen berichtigt iſt, es nicht bleibt, ſondern ſich Abweichungen und Verrückungen zu Schulden kommen läßt. Aber der wichtigſte in dieſer Claſſe der Fehler entſpringt daraus, daß man keine anderen natürlichen Merkmale hat, als diejenigen, welche die aſtronomiſchen Beobachtungen ſelbſt darbieten, ob nämlich ein Inſtrument die richtige Lage gegen den Horizont und ſeine Hauptpunkte, gegen die Erdaxe, oder gegen ſon-

ſtige aſtronomiſche Hauptlinien und Kreiſe habe, oder nicht, die es doch beſitzen muß, um ſeinen Zwecken gehörig entſprechen zu können.

109) Was nun die beiden erſten Claſſen von Fehlern betrifft, ſo muß bemerkt werden, daß ſie, inſoferne ſie nicht auf bekannte Geſetze zurückgeführt und dadurch Gegenſtände der Berechnung und Berückſichtigung werden können, die Reſultate aller Beobachtungen, bei welchen ſie vorkommen, in der That um ihren vollen Betrag fehlerhaft machen. Da ſie indeſſen ihrer Natur nach zufällig ſind, ſo fallen ihre Wirkungen nothwendig bald auf dieſe, bald auf jene Seite, indem ſie nämlich manchmal dazu beitragen, die Reſultate zu vermindern, und manchmal, ſie zu vergrößern. Deshalb kann man dieſe Claſſe von Fehlern auf die Weiſe beſeitigen, daß man die Beobachtungen, unter verſchiedenartigen Umſtänden, ſehr vervielfältigt, und den mittlern Durchſchnitt ihrer Reſultate nimmt, ſo daß die Fehler ſich einander aufheben, und irgend einen theoretiſchen, oder praktiſchen Schluß nicht auf eine merkliche Weiſe fehlerhaft werden laſſen. Dieſes iſt gegen ſolche Fehler das große und wirklich einzige Hülfsmittel, welches nicht allein der Aſtronom anwendet, ſondern jeder, der in irgend einem Fache phyſiſcher Forſchung numeriſche Reſultate zu erlangen ſucht.

110) Was die Fehler der Berichtigung und der Ausführung der Inſtrumente anlangt, ſo muß man nicht allein die Möglichkeit, ſondern die Gewißheit ihres Vorhandenſeyns, in jeder denkbaren Geſtalt, bei allen Inſtrumenten vorausſetzen. Menſchliche Hände oder Maſchinen, bildeten nie einen Kreis, zogen nie eine gerade Linie oder errichteten ein Perpendikel, ganz genau, noch berichtigten ſie ein Inſtrument ganz vollkommen, außer durch Zufall, und auch dann nur für einen Augenblick. Dieſes hindert indeſſen nicht, daß eine große Annäherung an alle dieſe Anforderungen erreicht werde. Es iſt aber eine Eigenthümlichkeit der aſtronomiſchen Beobachtung, daß ſie das letzte Mittel der Entdeckung aller mechaniſchen Mängel iſt, die bei ihrer Kleinheit jeder andern Entdeckungsweiſe

entgehen. Was das Auge nicht erkennen, und das Gefühl nicht empfinden kann, vermag eine Reihe aſtronomiſcher Beobachtungen völlig zu offenbaren.

Die unvollkommenen Erzeugniſſe menſchlicher Hände werden hier auf die Weiſe geprüft, daß man ſie mit den vollkommenen Werken der Natur vergleicht, und kein einziges wird in dieſer Prüfung beſtehen. Nun möchte es aber den Anſchein haben, als argumentire man in einem fehlerhaften Kreiſe, wenn man theoretiſche Folgerungen und Geſetze aus den Beobachtungen ableitet, und ſie dann auf die Inſtrumente anwendet, mit welchen dieſe Beobachtungen gemacht worden ſind, um dieſelben als unvollkommen darzuſtellen, und ihre Fehler mittelſt derſelben Geſetze und Theorieen, zu deren Kenntniß ſie uns verholfen haben, zu entdecken und zu berichtigen. Einige Ueberlegung wird aber zur Genüge zeigen, daß ein ſolcher Gang des Verfahrens ganz geſetzmäßig iſt.

111) Die Schritte, durch welche wir zu den Geſetzen der Naturerſcheinungen gelangen, und ganz beſonders zu ſolchen, deren Beſtätigung von numeriſchen Beſtimmungen abhängt, ſind nothwendig ſucceſſiv. Zu groben Reſultaten und handgreiflichen Geſetzen gelangt man durch kunſtloſe Beobachtungen mit plumpen Inſtrumenten, oder auch ohne alle Inſtrumente; und dieſe werden nun berichtigt und verfeinert durch genauere Prüfung mit feinern Hülfsmitteln. Während dieſes geſchieht, ſtößt man auf untergeordnete Geſetze, welche ſowohl den Wortausdruck als die numeriſchen Reſultate derer modificiren, die zuerſt von uns erkannt wurden; und wenn dieſe verfolgt und bis zur Gewißheit gebracht ſind, ſo reihen ſich denſelben wieder andere untergeordnete an, welche ſofort Gegenſtände weiterer Unterſuchung werden. Nun iſt es ohne Ausnahme der Fall (und der Grund davon iſt einleuchtend), daß der erſte Schimmer, den wir von ſolchen untergeordneten Geſetzen auffaſſen, oder die erſte Form, in welcher ſie ſich dunkel in unſerer Seele abſpiegeln, immer die der Irrthümer iſt. Wir bemerken einen Widerſpruch zwiſchen dem, was wir erwarten, und dem, was wir fin-

den. Das erſte Vorkommen eines ſolchen Widerſpruches ſchreiben wir dem Zufalle zu. Aber wir ſtoßen abermals und nochmals auf dieſen Widerſpruch, und fangen nun an, gegen unſere Inſtrumente Verdacht zu ſchöpfen. Wir unterſuchen nun, wie viel der Fehler betragen könne, dem ihre Beſtimmungen möglicher Weiſe ausgeſetzt ſind. Wenn die Grenze des möglichen Fehlers derſelben die beobachtete Abweichung überſchreitet, ſo verdammen wir ſogleich das Inſtrument, und fangen an, ſeine Einrichtung, oder ſeine Berichtigungen, zu verbeſſern. Immer aber kommen noch dieſelben Abweichungen vor, und, ſtatt daß ſie beſeitigt ſeyn ſollten, treten ſie noch deutlicher und ſchärfer, als früher, hervor. Wir ſind nun ſicher, einem Naturgeſetze auf der Spur zu ſeyn, und verfolgen es, bis wir daſſelbe auf einen beſtimmten Ausdruck gebracht, und durch wiederholte, unter den mannichfaltigſten Umſtänden angeſtellte, Beobachtungen als richtig erkannt haben.

112) Während dieſer Unterſuchung kann es nicht fehlen, daß andere Widerſprüche ſich uns bemerklich machen. Der Erfahrung nach ſchließen wir wieder auf ein noch unbekanntes Naturgeſetz; wir bringen die Reſultate unſerer Beobachtungen in tabellariſche Ueberſicht; und wir bemerken während dieſer Arbeit beſtimmte Anzeichen von einem regelmäßigen Fortſchreiten. Wir verbeſſern oder verändern abermals unſere Inſtrumente, und verlieren jetzt dieſes vermuthete neue Naturgeſetz ganz aus den Augen, oder finden ſtatt deſſen ein anderes von ganz verſchiedenem Charakter. Dadurch werden wir beſtimmt, die Urſache für das, was wir bemerkt haben, im Inſtrumente zu ſuchen. Wir prüfen deshalb die Theorie unſeres Inſtrumentes; wir vermuthen Fehler in ſeinem Bau, und mit Hülfe der Geometrie unterſuchen wir, in wie weit ihr Einfluß wirkliche Fehler in die Indicationen des Inſtrumentes bringen könne. Dieſe Fehler haben ihre Geſetze, welche, ſo lange wir keine Urſachen kennen, die uns in dieſer Beziehung leiten, mit Naturgeſetzen verwechſelt werden können, und in ihren Wirkungen mit ihnen vermiſcht werden. Sie entſtehen nicht von ungefähr, gleich Feh-

lern der Beobachtung, ſondern da ſie aus Urſachen entſpringen, die dem Inſtrumente eigenthümlich ſind, und die ſo lange unverändert bleiben, als das Inſtrument und ſeine Berichtigungen nicht geändert werden, ſo laſſen ſie ſich auf beſtimmte und feſtzuſtellende Formen zurückführen; denn jeder beſondere Fehler der Structur oder der Berichtigung erzeugt eine ihm eigenthümliche Form des Fehlers. Wenn dieſe nun ſämmtlich unterſucht ſind, ſo erkennen wir unter ihnen einen, der hinſichtlich ſeiner Natur und ſeines Fortſchreitens mit demjenigen unſerer beobachteten Abweichungen ganz übereinſtimmt. Das Geheimniß iſt mit einemmale aufgeſchloſſen: wir haben, durch directe Beobachtung, einen Fehler des Inſtrumentes entdeckt.

113) Es iſt deshalb für den praktiſchen Aſtronomen ein Haupterforderniß, ſich mit der Theorie ſeiner Inſtrumente völlig vertraut zu machen, ſo daß er im Stande iſt, ſogleich zu entſcheiden, welche Wirkung irgend eine gegebene Unvollkommenheit der Structur, oder der Berichtigung, auf ſeine Beobachtungen, bei irgend gegebenen Umſtänden, unter welchen eine Beobachtung gemacht werden kann, haben müſſe. Angenommen z. B., es erfordere das Princip eines Inſtrumentes, daß ein Kreis genau concentriſch mit der Axe ſey, auf welcher er ſich umdreht. Da dieſes eine Bedingung iſt, die kein Kunſtwerk erfüllen kann, ſo wird es nothwendig, zu unterſuchen, welche Fehler, durch irgend eine beſtimmte Abweichung in dieſer Hinſicht, bei Beobachtungen, mit einem ſolchen Inſtrumente angeſtellt, entſtehen werden, d. h. nämlich, wie groß der Unterſchied zwiſchen Beobachtungen mit dieſem und einem abſolut vollkommenen Inſtrumente, wenn ein ſolches zu haben wäre, ſeyn würde. Nun zeigt ein einfaches Theorem der Geometrie, daß, welches auch die Größe dieſer Abweichung ſeyn möge, ſie in ihrer Wirkung auf das Reſultat von Beobachtungen, die von der Graduirung des Kreislimbus abhängen, vernichtet werden könne, und zwar durch das ſehr leichte Mittel, die Theilungen an zwei diametral gegenüber liegenden Punkten des Kreiſes abzuleſen,

und daraus das Mittel zu nehmen; denn die Wirkung der Excentricität beſteht immer darin, eine ſolche Ableſung gerade um dieſelbe Quantität zu vermehren, um welche ſie die andere vermindert. Ferner angenommen, der eigenthümliche Gebrauch dieſes Inſtrumentes erfordere, daß ſeine Axe genau der Erdaxe parallel ſey. Da ſie nun niemals ſo gelegt werden, oder ſo bleiben kann, ſo fragt es ſich, wie groß der Fehler ſey, der beim Gebrauche des Inſtrumentes durch irgend eine beſtimmte Abweichung, (entweder in einer horizontalen oder in einer vertikalen Ebene) von jener genauen Lage entſtehen kann. Dergleichen Unterſuchungen bilden die Theorie der Inſtrumentalfehler, eine Theorie von der größten Wichtigkeit für die Praxis, und deren vollkommene Kenntniß einen Beobachter in den Stand ſetzt, ſelbſt mit mäßigen Inſtrumentalmitteln einen Grad von Genauigkeit zu erreichen, den nur die feinſten und koſtbarſten Inſtrumente ſcheinen gewähren zu können. In dem gegenwärtigen Werke beſchäftigen wir uns indeſſen mit dieſem Punkte nicht weiter. Die wenigen aſtronomiſchen Inſtrumente, die wir in dieſem Capitel beſchreiben wollen, werden, ſowohl rückſichtlich ihrer Conſtruction, als ihrer Berichtigung als vollkommen angenommen.

114) Da die obigen Bemerkungen zum richtigen Verſtändniß der Philoſophie unſeres Gegenſtandes und des Geiſtes aſtronomiſcher Methoden ſehr weſentlich ſind, ſo wollen wir ſie durch einen Fall erläutern. Beobachtende Perſonen hatten ſchon vor der Erfindung aſtronomiſcher Inſtrumente geſchloſſen, daß die ſcheinbaren täglichen Bewegungen der Sterne in Kreiſen um feſte Pole am Himmel (wie im vorhergehenden Capitel dargethan worden iſt) vor ſich gehen müßten. Bei dieſer Schlußfolgerung war indeſſen die Strahlenbrechung ganz überſehen worden, oder wenn ſie ſich durch ihre beträchtliche Größe in der unmittelbaren Nähe des Horizontes ihrer Bemerkung aufgedrungen hatte, ſo war ſie als eine lokale Unregelmäßigkeit betrachtet, und als ſolche vernachläſſigt, oder unberückſichtigt gelaſſen worden. Sobald man aber die täglichen Bahnen der Sterne

mit Inſtrumenten, ſelbſt von der plumpſten Art, zu verfolgen ſich bemühte, ſo fand man, daß der Begriff vollkommener Kreiſe, um einen und denſelben Pol beſchrieben, keine richtige Darſtellung der Erſcheinungen gab, ſondern daß durch irgend eine Urſache der ſcheinbare Tagekreis jedes Sternes zu einer Art von Oval verzerrt werde, in welchem das untere Segment mehr abgeplattet iſt, als das obere; und daß die Abweichung vom Kreiſe um ſo größer werde, je näher der Stern dem Horizonte komme, gerade ſo, als ob der Kreis von unten aufwärts gedrückt werde, und zwar die unteren Theile mehr, als die oberen. Für eine ſolche Wirkung, da man bald fand, daß der Grund davon weder dem Zufalle zugeſchrieben, noch im Inſtrumente aufgeſucht werden dürfe, mußte man nothwendig eine natürliche Urſache ſuchen, und man ſtieß leicht auf die Refraction, womit die Schwierigkeit gehoben war.

Dieſer Fall iſt in der That demjenigen von der ſcheinbaren Verzerrung der Sonne am Horizonte, wovon bereits im Art. 47. geſprochen wurde, ganz analog, nur in einem größeren Maaßſtabe, und bis auf größere Höhen ſich erſtreckend. Nachdem dieſes neue Geſetz einmal begründet war, mußte man den Ausdruck des vor alten Zeiten Angenommenen modificiren, indem man einen Vorbehalt für die Wirkung der Strahlenbrechung hinzufügte, oder einen Unterſchied machte zwiſchen den ſcheinbaren Tagekreiſen, welche von der Strahlenbrechung afficirt ſind, und den wahren, die von dieſer Wirkung befreit ſind.

115) Der erſte Eindruck ferner, den der Anblick der täglichen Bewegung des Himmels hervorbringt, iſt der, daß alle Himmelskörper dieſe Umdrehung in einer gemeinſchaftlichen Periode, nämlich in einem Tage oder in 24 Stunden vollbringen. Sobald wir aber die Sache mit Hülfe von Inſtrumenten unterſuchen, d. h. wenn wir mit Hülfe von Chronometern ihre auf einander folgenden Eintritte in den Meridian aufzeichnen, ſo finden wir Differenzen, die ſich nicht mehr durch einen Fehler der Beobachtung

erklären laſſen. Alle Sterne kehren zwar immer nach demſelben Zeitraume wieder zum Meridian, oder zu irgend einem Vertikalkreiſe zurück; aber dieſer Zeitraum iſt ſehr verſchieden von demjenigen, nach welchem die Sonne wieder zurückkehrt. Er iſt auffallend kürzer, denn er beträgt nur 23 St. 56 M. 4,09 S., ſtatt 24 Stunden, ſolche Stunden nämlich, wie ſie unſere gewöhnlichen Uhren angeben. Sonach hätten wir denn zwei verſchiedene Tage, einen Sterntag und einen Sonnentag; und wenn wir ſtatt der Sonne den Mond beobachten, ſo finden wir einen dritten, der viel länger iſt, als die beiden vorhergehenden, nämlich einen Mondstag, deſſen mittlere Dauer 24 St. 54 M. unſerer gewöhnlichen Zeit beträgt, welche letztere Sonnenzeit iſt, indem ſie nothwendig der ſucceſſiven Rückkehr der Sonne conform ſeyn muß, als wonach ſich alle Geſchäfte des Lebens richten.

116) Nun findet man, daß alle Sterne übereinſtimmend für den Sterntag genau dieſelbe Dauer von 23 St. 56 M. 4,09 S. geben, und wir können deshalb nicht anſtehen, dieſe Zeit als die Periode anzunehmen, in welcher die Erde eine Umdrehung um ihre Axe vollendet. Wir ſind demnach genöthigt, die Sonne und den Mond als Ausnahmen vom allgemeinen Geſetze zu betrachten, inſofern ſie eine von den Sternen verſchiedene Natur, oder wenigſtens eine von ihnen verſchiedene Beziehung zu uns beſitzen, und eigenthümliche, wahre oder ſcheinbare, Bewegungen haben, die von der Umdrehung der Erde um ihre Axe unabhängig ſind. Somit iſt uns ein großer und höchſt wichtiger Unterſchied aufgeſchloſſen.

117) Um dieſe Thatſachen zu begründen, bedarf es faſt keines Apparates. Ein Beobachter braucht ſich nur nördlich von einem deutlich begrenzten, vertikalen Gegenſtande, z. B. der Ecke eines Gebäudes, zu ſtellen, und ſein Auge genau an einen gewiſſen feſten Punkt (z. B. vor eine kleine Oeffnung in einer an einem unbeweglichen Träger befeſtigten Metallſcheibe)

zu halten, und das tägliche Verſchwinden irgend eines Sternes hinter dem Gebäude an einer Uhr *) zu bemerken. Wenn er die Sonne beobachtet, muß er ſein Auge mit einem dunkelfarbigen oder mit Rauch angelaufenen Glaſe ſchützen, und die beiden Momente bemerken, wann ihr weſtlicher und öſtlicher Rand nach einander an die Wand kommen, woraus er, indem er die Hälfte der Zwiſchenzeit nimmt, den Moment des Verſchwindens des Sonnenmittelpunktes erfährt, den er nicht direct beobachten kann.

118) Wenn wir bei Verfolgung und Feſtſtellung dieſer allgemeinen Thatſache Veranlaſſung finden, noch genauer die Zeit des täglichen Eintrittes der Sonne in den Meridian zu beobachten, ſo fangen wir an, Unregelmäßigkeiten (was ſie zuerſt zu ſeyn ſcheinen) dabei zu bemerken. Die Intervalle zwiſchen zwei auf einander folgenden Eintritten in den Meridian ſind nicht zu allen Zeiten des Jahres dieſelben. Sie ſind manchmal größer, manchmal kleiner, als 24 ſolcher Stunden, wie die Uhr ſie zeigt, d. h. der Sonnentag hat nicht immer dieſelbe Länge. Um die Zeit des 21. Decembers iſt er z. B. ½ Minute länger und um eben die Zeit im September beinahe um ſo viel kürzer, als ſeine mittlere Dauer. Und ſo haben wir wieder eine Verſchiedenheit bemerkt zwiſchen dem wirklichen Sonnentage, der ſich nie zwei Tage nach einander gleich bleibt, und dem mittlern Sonnentage von 24 Stunden, der eine mittlere

*) Dieſes iſt ein treffliches praktiſches Verfahren, den Gang einer Pendeluhr oder einer andern Uhr auszumitteln, weil es äußerſt genau iſt, ſobald einige Vorſichtsmaßregeln dabei angewendet werden. Die wichtigſte davon beſteht d'rin, darauf zu ſehen, daß derjenige Theil der Kante, hinter welchem der Stern (und zwar ein glänzender, aber nicht ein Planet) verſchwindet, ganz glatt ſey, weil ſonſt eine veränderte Strahlenbrechung den Punkt des Verſchwindens von einer Hervorragung in eine Vertiefung verſetzen, und dadurch den Moment der Beobachtung ungebührlich ändern könnte. Dem iſt leicht vorgebaut, dadurch daß man ein glattkantiges Bret annagelt.

Größe aller einzelnen Sonnentage durchs ganze Jahr iſt. Hiermit eröffnet ſich uns alſo abermals eine neue Quelle der Unterſuchung. Die ſcheinbare Bewegung der Sonne iſt nicht allein von derjenigen der Sterne verſchieden, ſondern ſie iſt auch nicht gleichförmig, wie die Bewegung der letztern. Sie unterliegt Schwankungen, deren Geſetze Gegenſtand der Forſchung werden. Um aber dieſe Geſetze zu verfolgen, bedürfen wir ſchärferer Beobachtungsmittel, als diejenigen, welche wir beſchrieben haben, und ſind genöthigt, ein Inſtrument zu Hülfe zu nehmen, welches den Namen des Mittagsfernrohres, oder Paſſageninſtrumentes, führt und beſonders für ſolche Beobachtungen beſtimmt iſt, wie auch, um genau alle Urſachen von Unregelmäßigkeiten im Gange der Pendeluhren und Chronometer zu bemerken, die auf unſere Berechnung der Zeit Einfluß haben können. So werden wir nach und nach in immer feinere Unterſuchungen mit Hülfe von Inſtrumenten verwickelt; und wir finden bald, daß im Verhältniſſe, in welchem wir den Betrag und das Geſetz einer großen oder Hauptſchwankung, oder ſogenannten Ungleichheit der täglichen Bewegung der Sonne näher ausmitteln, noch andere immer kleinere und kleinere zu unſerer Kenntniß kommen, die vorher verborgen, oder mit Fehlern der Beobachtung und Unvollkommenheiten der Inſtrumente vermiſcht waren. Man kann, mit einem Worte, die mittlere Länge des Sonnentages nicht übel mit der mittlern oder Durchſchnittshöhe des Waſſers in einem Hafen, oder dem allgemeinen Niveau des Meeres vergleichen, wenn es weder durch Fluth, noch Wogen in Bewegung geſetzt iſt. Die große jährliche, oben erwähnte Schwankung kann mit den täglichen, durch Ebbe und Fluth herbeigeführten, Veränderungen des Waſſerſtandes verglichen werden (Ebbe und Fluth ſind weiter nichts, als große Wogen, die ſich über den ganzen Ocean verbreiten), während die kleineren untergeordneten Ungleichheiten den gewöhnlich ſogenannten Wellen ſich aſſimiliren laſſen, auf welchen wir, wenn ſie groß ſind, kleinere Undulationen und auf die-

ſen wieder noch zartere Kräuſelungen, und ſo fort bis ins Unendliche, bemerken.

119) Mit den Urſachen dieſer Unregelmäßigkeiten in der Sonnenbewegung haben wir für jetzt noch nichts zu thun, indem ihre Erklärung einem vorgeſchrittenern Theile dieſes Werkes angehört; aber den Unterſchied zwiſchen Sonnen- und Sterntagen mußten wir bei Zeiten kennen lernen, und dürfen ihn nie aus dem Auge verlieren, indem er alle Theile der Aſtronomie durchdringt. Im bürgerlichen Leben iſt es, wie bereits erwähnt worden, die mittlere oder Durchſchnittslänge des Sonnentages, nach welcher die Zeit berechnet wird. Er beginnt um Mitternacht, aber die Aſtronomen (wenigſtens in England) weichen, ſelbſt wenn ſie ſich der mittlern Sonnenzeit bedienen, von der bürgerlichen Rechnung darin ab, daß ſie ihren Tag um Mittag anfangen, und die Stunden von 0 fortlaufend bis 24 zählen. So entſpricht 11 Uhr Vormittags am zweiten Januar, nach bürgerlicher Zeitrechnung, dem erſten Januar und 23 Stunden nach aſtronomiſcher Rechnung; und 1 Uhr Nachmittags nach erſterer Rechnung, dem zweiten Januar und 1 Stunde nach letzterer. Dieſer Gebrauch hat ſeine Vortheile und Nachtheile, aber die letztern ſcheinen das Uebergewicht zu haben, und es würde deshalb gut ſeyn, wenn es durchgeſetzt werden könnte, daß die bürgerliche Rechnungsart der aſtronomiſchen ſubſtituirt würde.

120) Aſtronomen und Bürger, welche verſchiedene Punkte der Erdoberfläche bewohnen, differiren indeſſen von einander in ihrer Zeitrechnung, wie es auch nothwendig der Fall ſeyn muß, wenn man in Erwägung zieht, daß es an einem Orte Mittag iſt, während es an dem diametral gegenüber liegenden Mitternacht iſt, daß an einem andern Orte die Sonne aufgeht, während ſie an einem vierten eben untergeht. Daraus entſteht große Unbequemlichkeit, beſonders hinſichtlich ſolcher Orte, die ſehr weit von einander liegen, und wodurch ſogar in einigen kritiſchen Fällen ein Irrthum von einem ganzen Tage veranlaßt werden kann. Um dieſe Unbequemlichkeit zu beſeitigen, hat man neuerdings an-

gefangen, die Zeit nach mittlern Sonnentagen und Theilen eines Tages zu rechnen, welche von einem feſten, der ganzen Welt gemeinſchaftlichen, Augenblicke anfangen, der nicht durch einen lokalen Umſtand, wie Mittag oder Mitternacht, beſtimmt wird, ſondern durch die Bewegung der Sonne in Bezug auf die Sterne. Auf dieſe Weiſe berechnete Zeit heißt Aequinoctialzeit, und ſie iſt numeriſch, in demſelben Augenblicke für jeden Theil der Erdkugel dieſelbe. Der Urſprung dieſer Rechnungsart wird ſpäterhin, wenn wir in unſerm Werke weiter vorgeſchritten ſind, vollſtändiger erklärt werden.

121) Die Zeit iſt ein weſentliches Element bei aſtronomiſchen Beobachtungen, und zwar in doppelter Hinſicht: — 1) Als ein Darſtellungsmittel der Winkelbewegung. Da die tägliche Bewegung der Erde gleichförmig iſt, ſo beſchreibt jeder Stern ſeinen Tagekreis gleichförmig; und die Zeit, welche zwiſchen den ſucceſſiven Durchgängen der Sterne durch den Meridian eines Beobachters verfließt, wird deshalb ein directes Maaß der Differenzen ihrer geraden Aufſteigungen. 2) Als das Fundamentalelement (oder als das unabhängig veränderliche, um uns der Sprache der Geometer zu bedienen) in allen dynamiſchen Theorieen. Der große Zweck der Aſtronomie iſt die Beſtimmung der Geſetze der Bewegungen der Himmelskörper, und der Beziehung derſelben auf ihre nahen oder entfernten Urſachen. Nun kann die Angabe des Geſetzes einer beobachteten Bewegung eines Himmelskörpers keine andere ſeyn, als ein Satz, der darthut, welches die wahre oder ſcheinbare Lage dieſes Himmelskörpers in irgend einer Zeit, ſey ſie vergangen, gegenwärtig, oder zukünftig, geweſen iſt, iſt und ſeyn wird. Um deshalb dergleichen Geſetze mit Beobachtungen vergleichen zu können, muß man ein Verzeichniß der beobachteten Lagen des fraglichen Himmelskörpers und der Zeiten beſitzen, zu welchen ſie beobachtet wurden.

122) Die Zeitmeſſung wird bewerkſtelliget durch Pendeluhren, Chronometer, Waſſeruhren und Sanduhren. In der neuern Aſtronomie ſind die beiden erſtern allein

gebräuchlich. Die Sanduhren ſind ein plumpes und rohes Mittel, um beſtimmte Zeittheile zu meſſen, oder vielmehr zu zählen, und gegenwärtig ganz außer Gebrauch. Die Waſſeruhr, welche die Zeit durch allmählige Entleerung eines großen mit Waſſer gefüllten Gefäßes aus einer Oeffnung von beſtimmter Größe mißt, iſt beträchtlicher Genauigkeit fähig, und beſaß, vor der Erfindung der Pendeluhren und Chronometer, allein das Vertrauen der Aſtronomen. Gegenwärtig hat man ſie auch aufgegeben, wegen der größern Bequemlichkeit und Genauigkeit der letztern Inſtrumente; und nur in einem einzigen Falle iſt die Anwendung derſelben von neuem vorgeſchlagen worden, nämlich, um durch das Ausfließen von Queckſilber aus einer kleinen Oeffnung im Boden eines, bis zu einer beſtimmten Höhe beſtändig voll gehaltenen, Gefäßes ſehr kleine Zeittheile genau abzumeſſen. Der Ausfluß des Queckſilbers wird in dem Momente des Eintritts eines Ereigniſſes abgeſperrt, und dagegen in einen ſeitwärts befindlichen Recipienten ſo lange geleitet, bis der Moment eines andern zu notirenden Ereigniſſes eintritt, wo die Abſperrung alsdann plötzlich aufgehoben wird, das Queckſilber folglich wieder ſeinen urſprünglichen Lauf erhält, und aufhört, in den Recipienten zu fließen. Das Gewicht des aufgefangenen Queckſilbers, verglichen mit dem Gewichte, welches in einem an der Pendeluhr beobachteten Zeitraum aufgefangen worden iſt, giebt den Zeitunterſchied der beobachteten Ereigniſſe. Dieſe ſinnreiche und einfache Art, ein Problem, über welches in der neuern Zeit viele Erörterungen ſtattgefunden haben, mit aller möglichen Schärfe zu löſen, verdanken wir dem Capitän Kater.

123) Die Pendeluhr und die Spindeluhr, mit denjenigen Verbeſſerungen und Verfeinerungen in ihrem Baue, wodurch ſie eigentlich zu Chronometern*) werden, ſind indeſſen die Inſtrumente, auf welche der Aſtronom ſeine Kenntniſſe des Verlaufes der Zeit grün-

---

*) *Χρονος*, die Zeit; *μετρειν*, meſſen.

det. Dieſe Inſtrumente ſind jetzt zu ſolcher Vollkommenheit gebracht, daß eine Unregelmäßigkeit in ihrem Gange von dem Betrage einer einzigen Secunde in 24 Stunden während zweier auf einander folgenden Tage bei einem guten Inſtrumente dieſer Art nicht geduldet wird; und man kann alſo mittelſt derſelben jeden Zeitraum unter 24 Stunden bis auf einige Zehntheile einer Secunde zuverläſſig beſtimmen. In dem Verhältniſſe, in welchem die Zeiträume größer werden, wird auch die Gefahr eines Fehlers, ſo wie der Betrag des möglichen Fehlers, größer, weil ſich die zufälligen Fehler mehrerer Tage anhäufen können; auch können Urſachen vorhanden ſeyn, welche eine langſame fortſchreitende Veränderung im Gange bewirken, ohne daß ſie bemerkt werden. Es iſt deshalb nicht ſicher, bei der Beſtimmung der Zeit ſich mehrere Tage nach einander auf Pendeluhren oder Chronometer zu verlaſſen, ohne ſie zu controliren, und ihre Fehler vermittelſt ſolcher Naturereigniſſe, von denen wir wiſſen, daß ſie einen Tag nach dem andern, und zwar nach gleichen Zwiſchenzeiten, eintreten, zu beſtimmen. Wenn aber dieſes geſchieht, ſo können die längſten Zwiſchenzeiten mit derſelben Schärfe, wie die kürzeſten, beſtimmt werden; weil wir in der That bei ſo langen Intervallen nur diejenigen Zeiten, welche zwiſchen dem erſten ſowohl als letzten Momente derſelben und den Momenten der periodiſch wiederkehrenden, zu unſern Vergleichungspunkten angenommenen, Ereigniſſe liegen, welch letztere aber innerhalb 24 Stunden in Bezug auf jene beiden Momente eintreten, durch künſtliche Mittel meſſen. Die ganzen Tage werden uns von der Natur gezählt, und nur die Bruchtheile an dem einen und dem andern Ende werden durch unſere Uhren gemeſſen. Die Rechnung der ganzen Tage richtig zu erhalten, ſo daß keiner verloren geht, oder zweimal gezählt wird, iſt der Zweck des Calenders. Die Chronologie bezeichnet die Ordnung der Aufeinanderfolge von Ereigniſſen, und ſtellt ſie in ihre gehörigen Jahre und Tage, während die Chronometrie, indem ſie ihre Beſtimmungen auf die genaue Beobachtung von ſolchen

regelmäßig periodiſchen Ereigniſſen gründet, deren Periode ſich bequem und genau unterabtheilen läßt, uns in den Stand ſetzt, mit dem höchſten Grade der Schärfe die Momente zu beſtimmen, in welchen ſich Erſcheinungen ereignen.

124) Die Culmination oder der Durchgang jedes Sternes am Himmel durch den Meridian eines Beobachters bietet letzterem ein ſolches regelmäßig periodiſches Naturereigniß, wie wir angedeutet haben, dar. Die Aſtronomen benutzen daher die Culminationen der hellſten und am ſchicklichſten gelegenen Fixſterne, um die Zeit genau zu beſtimmen, oder, was auf eins hinauskommt, um den Betrag des Fehlers ihrer Uhren genau auszumitteln.

125) Das Inſtrument, mit welchem die Culminationen oder Meridian-Durchgänge von Himmelskörpern beobachtet werden, heißt das Paſſageninſtrument oder Mittagsfernrohr. Es beſteht (ſiehe Fig. 12.) aus einem Fernrohre, welches auf einer horizontalen Axe, die nach den Oſt- und Weſtpunkten des Horizontes gerichtet iſt, oder mit der Ebene des Meridians des Beobachtungsortes rechte Winkel bildet, gut befeſtigt iſt. Die Enden der Axe beſtehen aus cylindriſchen Zapfen von ganz gleichen Durchmeſſern, und ruhen in metallenen Lagern, welche bei größeren Inſtrumenten in ſtarke ſteinerne Pfeiler eingelaſſen ſind und mittelſt Schrauben ſowohl in vertikaler als horizontaler Richtung äußerſt genau berichtigt werden können. Durch die erſte Berichtigungsvorrichtung kann die Axe mittelſt einer auf ihren Zapfen ruhenden Waſſerwaage genau horizontal geſtellt, und durch die letzte genau in die Richtung der Oſt- und Weſtpunkte gebracht werden. Dieſes letztere läßt ſich durch die Beobachtungen ſelbſt, welche mit dem Inſtrumente angeſtellt werden, erkennen, oder durch einen deutlich begrenzten terreſtriſchen Gegenſtand, ein ſogenanntes Meridianzeichen, deſſen richtige Lage urſprünglich durch ſolche Beobachtungen beſtimmt, und welches dann, der Bequemlichkeit wegen, die feine leichte Benutzung gewährt, in großer Entfernung und genau

in derjenigen Mittagslinie, die durch den Mittelpunkt des ganzen Inſtrumentes geht, permanent errichtet worden iſt. Aus dieſer Beſchreibung erhellt, daß, wenn die Centrallinie des Fernrohres (diejenige, welche die Mittelpunkte ſeines Objectivglaſes und Ocularglaſes verbindet, und die in der Aſtronomie ſeine Collimationslinie oder Abſehenslinie heißt) einmal zur Axe des Paſſageninſtrumentes genau im rechten Winkel ſteht, ſie nie die Ebene des Meridians verläßt, wenn das Inſtrument um ſeine Axe gedreht wird.

126) Im Brennpunkte des Ocularglaſes, und unter einem rechten Winkel mit der Länge des Fernrohres, iſt ein Syſtem von einem horizontalen und fünf gleichweit von einander abſtehenden vertikalen Fäden oder Dråhten (wie in Fig. 13. dargeſtellt iſt) angebracht, die immer im Geſichtsfelde ſichtbar ſind, ſobald ſie gehörige Beleuchtung haben, die ſie am Tage durch das Licht des Himmels, des Nachts durch das Licht einer Lampe erhalten, die mittelſt einer Vorrichtung angebracht iſt, welche hier nicht erklårt zu werden braucht. Der Ort dieſes Fädenſyſtems kann durch Stellſchrauben verändert werden, die ihm eine Seitenbewegung, d. h. eine horizontale Bewegung, mittheilen; und man kann es dadurch in eine ſolche Stellung bringen, daß der mittlere der Vertikalfäden die Collimationslinie des Fernrohres ſchneidet, in welcher Lage es dann permanent befeſtigt wird. Bei dieſer Stellung iſt nun offenbar der mittlere Faden eine ſichtbare Darſtellung desjenigen Theils des Himmelsmeridianes, gegen welchen das Fernrohr gerichtet iſt; und wenn ein Stern vor dieſem Faden im Fernrohre vorübergeht, ſo culminirt er eben, oder geht durch den Himmelsmeridian. Der Augenblick dieſes Ereigniſſes wird nach der Pendeluhr oder dem Chronometer angemerkt, die ein unentbehrliches Zugehör des Paſſageninſtrumentes ſind. Größerer Genauigkeit wegen werden die Durchgangsmomente aller fünf vertikalen Fåden notirt, und daraus ein mittleres Reſultat genommen, welches (da die Fåden gleichweit

BIBLIOTHECA CIVITATIS BABENBERGENSIS

von einander abſtehen) genau mit demjenigen des mittleren Fadens übereinſtimmen müßte, wenn alle Beobachtungen vollkommen wären; jenes mittlere Reſultat aus ſämmtlichen Beobachtungen wird folglich dazu beitragen, die einzelnen Fehler derſelben auszugleichen und zu vernichten.

127) Ueber die Art und Weiſe, wie die Berichtigungen vorzunehmen, und die Fehler zu berückſichtigen ſind, welche beim Gebrauche dieſes einfachen und zierlichen Inſtrumentes unvermeidlich bleiben, muß der Leſer Werke zu Rathe ziehen, welche dieſem Theile der praktiſchen Aſtronomie speciell gewidmet ſind*). Wir wollen hier nur einer wichtigen Prüfung der Richtigkeit des Inſtruments erwähnen, welche darin beſteht, die Enden der Axe umzukehren, oder ſie von Oſten nach Weſten zu legen. Iſt dieſes geſchehen, und giebt es noch dieſelben Reſultate, ſo daß auch der mittlere Faden den nämlichen Punkt am Meridianzeichen durchſchneidet: ſo können wir überzeugt ſeyn, daß die Collimationslinie des Fernrohres genau einen rechten Winkel mit der Axe bildet, und eine vollkommene Ebene, d. h. am Himmel einen größten Kreis, beſchreibt. Bei guten Durchgangsbeobachtungen iſt ein Fehler von zwei oder drei Zehnteln einer Zeitſecunde in dem Momente der Culmination eines Sternes das Aeußerſte, was befürchtet werden darf, ausſchließlich des Fehlers der Pendeluhr; oder mit andern Worten eine Pendeluhr kann durch eine einzige ſolche Beobachtung mit der täglichen Bewegung der Erde ohne Gefahr eines größern Fehlers verglichen werden. Wenn man daher die Beobachtungen vervielfältigt, ſo läßt ſich ein noch höherer Grad von Genauigkeit erlangen.

128) Die Winkelabſtände, welche mit dem Paſſageninſtrumente und der Pendeluhr gemeſſen werden, ſind Bogen des Aequinoctialkreiſes, welche zwiſchen

---

*) Siehe Dr. Pearson's Treatise on Practical Astronomy. Ferner Bianchi Sopra lo Stromento de Passagi. Ephem. di Milano, 1824.

den Declinationskreiſen liegen, die durch die beobachteten Himmelskörper gehen; und die Meſſung derſelben wird in dieſem Falle durch keine künſtliche Eintheilung von Kreiſen, ſondern mit Hülfe der täglichen Bewegung der Erde bewerkſtelligt, welche gleiche Bogen des Aequinoctialkreiſes in gleichen Zeiten durch den Meridian führt, ſo daß 15° auf eine Sternſtunde kommen. In allen andern Fällen, wo Winkelabſtände gemeſſen werden ſollen, bedarf man der Kreiſe, oder Theile von Kreiſen, welche aus Metall, oder anderem feſten und dauerhaften Material verfertigt, und durch mechaniſche Mittel in gleiche Theile, z. B. in Grade, Minuten u. ſ. w., eingetheilt werden.

Es ſey ABCD (Fig. 14.) ein ſolcher durch Striche oder Punkte in 360 Grade getheilter Kreis (welche Grade, von 0° anfangend, am Umfange herum bis wieder zu demſelben Punkte laufen), und derſelbe ſey durch Strahlen oder Speichen x, y, z, welche am Umfange oder **Limbus** des Kreiſes gut befeſtigt ſind, mit ſeinem Mittelpunkte verbunden. Durch dieſen ſey ein kreisrundes Loch gebohrt, in welchem ſich ein genau in daſſelbe paſſender Zapfen bewegt, der ein Fernrohr, oder ein Abſehen, trägt, deſſen Axe ab der Ebene des Kreiſes genau parallel, oder zum Zapfen perpendiculär iſt; auch die beiden Arme m, n ſind perpendiculär zum Zapfen, und bilden mit dem Fernrohre und der Zapfenaxe ein einziges Stück, ſo daß die Bewegung dieſer Axe im Mittelpunkte ſowohl das Fernrohr als die Arme ſanft am Kreiſe herumführt, und man dieſelben an jedem beliebigen Punkte der Peripherie mittelſt einer **Klammer** feſthalten kann. Angenommen nun, wir ſollen den Winkelabſtand zweier fixen Gegenſtände S und T meſſen, ſo muß die Ebene des Kreiſes zuerſt ſo geſtellt werden, daß ſie durch beide Gegenſtände geht. Nachdem dieſes geſchehen iſt, richte man die **Axe ab** des Fernrohrs nach einem dieſer Gegenſtände S, und **ſtelle ſie** mittelſt der Klammer **feſt**. Alsdann wird ein Zeiger am Arme m entweder ganz genau mit einem der Theilſtriche des Limbus zuſammentreffen, oder zwiſchen zwei neben einan-

der liegende Striche hinzeigen. In erſterem Falle muß dieſer Theilſtrich als die Ableſung des Armes m notirt werden. Im letztern Falle muß der Bruchtheil des ganzen Zwiſchenraumes zwiſchen den zwei auf einander folgenden Theilſtrichen, um welchen nämlich der Zeiger am Arme m den zunächſt vorhergehenden Theilſtrich überſchreitet, durch mechaniſche oder optiſche Hülfsmittel geſchätzt oder gemeſſen werden. (Siehe Art. 130.) Nachdem der Theilſtrich ſammt dem zugehörigen Bruche notirt und in Grade, Minuten und Secunden verwandelt iſt, wird dieſes Reſultat als die Ableſung des Limbus, der dieſer Lage des Fernrohrs ab entſpricht, in welcher daſſelbe auf den Gegenſtand S gerichtet iſt, niedergeſchrieben. Daſſelbe muß alsdann für den Gegenſtand T geſchehen; es muß nämlich das Fernrohr auf denſelben gerichtet, und der Limbus abgeleſen werden. Es liegt nun auf der Hand, daß, wenn die kleinere dieſer Ableſungen von der größern abgezogen wird, ihre Differenz den Winkelabſtand von S und T giebt, wie derſelbe vom Mittelpunkte des Kreiſes aus geſehen wird, an welchem Punkte des Limbus der Anfang der Gradeintheilung oder der Punkt 0° auch liegen möge.

129) Ganz daſſelbe Reſultat wird erlangt, wenn man, ſtatt das Fernrohr auf dem Kreiſe ſich bewegen zu laſſen, es unbeweglich mit demſelben verbindet, und beide zuſammen auf einer mit dem Kreiſe concentriſchen und mit ihm ein Ganzes bildenden Axe in einer Büchſe ſich drehen läßt, welche feſt ſteht und ſo eingerichtet iſt, daß die erwähnte Axe genau in dieſelbe paßt. Eine ſolche Zuſammenſetzung iſt in Fig. 15. im Durchſchnitte dargeſtellt. T iſt das Fernrohr oder Abſehen, bei p p auf dem Kreiſe A B befeſtigt, deſſen Axe D in dem feſten metallenen Lager E ſich dreht, von welchem aus ein Arm F an den Kreis läuft und an ſeinem Ende einen Zeiger trägt, der ſcharf auf die Eintheilung des Kreiſes bei B zeigt, ſo daß man ſie genau ableſen kann. Es leuchtet nun ein, daß ſowie das Fernrohr und der Kreis ſich durch einen Win-

kel drehen, derjenige Theil des Kreislimbus, welcher durch dieſe Umdrehung über den Zeiger F hinaus geführt worden iſt, den beſchriebenen Winkel meſſen wird. Dieſes iſt die gebräuchlichſte Art, eingetheilte Kreiſe in der Aſtronomie anzuwenden.

130) Der Index F kann entweder ein einfacher Zeiger, ähnlich einem Uhrzeiger a (Fig. 16.), oder ein Vernier b, oder endlich ein zuſammengeſetztes Mikroſkop c ſeyn, welches bei d im Durchſchnitte dargeſtellt iſt, und das im gemeinſchaftlichen Brennpunkte ſeines Objectivs und Oculars ein Fadenkreuz hat, welches mittelſt einer Schraube von ſeinen Gängen beweglich iſt, ſo daß der Durchſchnitt des Kreuzes mit dem Bilde des nächſten Theilſtriches auf dem Kreislimbus genau zur Coincidenz gebracht werden kann.

Aus der Zahl der Umgänge und der Theile eines Umganges der Schraube, welche für den letzteren Zweck erforderlich ſind, kann man ſodann den Abſtand dieſes Theilſtriches vom Anfangs- oder Nullpunkte des Mikroſkopes beſtimmen. Dieſer einfache, aber ſehr feine Apparat geſtattet, den eingetheilten Limbus eines Kreiſes mit einer Genauigkeit abzuleſen, welche nur durch die Vergrößerungskraft des Mikroſkopes und durch den Grad der Vollkommenheit, in welcher eine ſolche Schraube verfertigt werden kann, begrenzt wird, und er macht es möglich, die Unterabtheilungen der Winkel mit derſelben optiſchen Zuverläſſigkeit, zu beſtimmen, mit welcher die Winkel ſelbſt, durch die Anwendung eines Fernrohres, gemeſſen werden können.

131) Die Genauigkeit des auf dieſe Weiſe erhaltenen Reſultates hängt ab 1) von der Beſtimmtheit und Schärfe, mit welcher das Fernrohr a b auf die Objecte gerichtet werden kann; 2) von der Genauigkeit der Eintheilung des Limbus; 3) von der Genauigkeit, mit welcher die Unterabtheilung der Intervalle zwiſchen je zwei neben einander liegenden Theilſtrichen ausgeführt werden kann. Die Art und Weiſe, wie letzteres mit der erforderlichen Schärfe geſchehen kann, haben wir im vorhergehenden Art. erklärt. Die Graduirung oder

Eintheilung des Limbus iſt rein mechaniſcher Natur, und wir bemerken weiter nichts darüber, als daß die Verfertiger ſolcher Inſtrumente gegenwärtig ihre Kunſt hierin zu einer ſolchen Vollkommenheit gebracht haben, daß der Betrag des Fehlers aus dieſer Quelle der Ungenauigkeit in der That in ſehr enge Grenzen eingeſchloſſen iſt. Was den erſten Punkt betrifft, ſo muß es einleuchtend ſeyn, daß, wenn die Viſirvorrichtung ab weiter nichts wäre, als einfache Kreuze oder Nadellöcher an den Enden einer hohlen Röhre, oder eine Oeffnung für die Aufnahme des Auges an dem einen Ende und ein Kreuz am andern, ſich keine größere Genauigkeit im Richten erwarten ließe, als diejenige iſt, welche durch einfaches Sehen mit bloßem Auge erlangt werden kann. Wenn aber, ſtatt dieſer einfachen, jedoch groben, Mittel, die Röhre ſelbſt in ein Fernrohr mit einem Objectiv bei b und einem Ocular bei a umgewandelt wird; und wenn die Bewegung des Fernrohres am Rande des Kreiſes gehemmt wird, ſobald das Object gerade in den Mittelpunkt des Geſichtsfeldes gebracht iſt, ſo leuchtet von ſelbſt ein, daß ſich, in Bezug auf das Richten des Rohres, ein größerer Grad von Genauigkeit, als mit dem unbewaffneten Auge, erlangen läßt, und zwar im Verhältniſſe zur Vergrößerungskraft und der Lichtſtärke des angewendeten Fernrohres. Der höchſte erreichbare Grad von Genauigkeit wird dadurch erlangt, daß man in dem gemeinſchaftlichen Brennpunkte des Objectiv- und Ocularglaſes zwei feine Faſern, z. B. feine Haare oder Spinnenfäden, ausſpannt, welche einander im Mittelpunkte des Sehfeldes rechtwinklig durchſchneiden. Ihr Durchſchnittspunkt gewährt einen beſtändigen Zielpunkt, mit welchem das Bild des Objectes genau zur Coincidenz gebracht werden kann, indem man das Fernrohr mit einem gehörigen Grade von Vorſicht und mit Hülfe einer mechaniſchen Vorrichtung in ſeine endliche Lage am Limbus des Kreiſes führt, und es hier feſthält, bis das Ableſen geſchehen iſt.

132) Man kann füglich annehmen, daß durch

dieſe Anwendung des Fernrohres derjenige Theil des Beobachtungsfehlers völlig vernichtet wird, der ſonſt durch irrige Schätzung der Richtung entſtehen kann, in welcher ein Object vom Auge des Beobachters, oder vom Mittelpunkte des Inſtrumentes, liegt. Sie iſt in der That die große Quelle aller Präciſion der neuern Aſtronomie, ohne welche alle anderen Verfeinerungen in der Ausführung der Inſtrumente vergebens ſeyn würden; denn die Fehler, die ohne eine ſolche Hülfe im Zielen auf ein Object begangen werden würden, ſind weit größer, als diejenigen, welche die plumpſte Kreiseintheilung herbeiführen könnte.*) Auf dieſe

---

*) Die Ehre dieſer Hauptverbeſſerung iſt mit Erfolg von Derham (Philosophical Transactions XXX. 603.) für unſern jungen, talentvollen und unglücklichen Landsmann Gascoigne aus ſeiner Correſpondenz mit Crabtree und Horrockes die in Derham's Beſitz iſt, in Anſpruch genommen worden. Die Stellen, welche Derham aus dieſen Briefen anführt, ſetzen es außer Zweifel, daß Gascoigne ſchon 1640 ſeine Quadranten und Sextanten mit Fernröhren ausgeſtattet hat, die im gemeinſchaftlichen Brennpunkte der Gläſer mit einem Fadennetze verſehen waren; er hatte ſogar die Erfindung ſchon ſo weit getrieben, daß er das Geſichtsfeld durch künſtliches Licht erleuchtete, was er ſehr zweckdienlich fand, ſobald der Mond nicht ſchien, oder es ſonſt an hinlänglichem Lichte mangelte. Dieſe Erfindungen theilte er freimüthig Hrn. Crabtree und durch ihn deſſen Freunde Horrockes, dem Stolz und Ruhme der brittiſchen Aſtronomie, mit. Beide ſchenkten ſowohl dieſer, als vielen anderen ſeiner feinen und trefflichen Verbeſſerungen in der Beobachtungskunſt, ihre unbeſchränkte Bewunderung. Gascoigne blieb indeſſen, in einem Alter von 23 Jahren, in der Schlacht von Marſton Moor; und der frühzeitige und plötzliche Tod des noch jüngern Horrockes erklären es zur Genüge, daß die Erfindung in temporäre Vergeſſenheit gerathen konnte. Sie wurde aus derſelben wieder hervorgezogen, oder abermals erfunden, im Jahre 1667 von Picard und Auzout (Lalande Astronomie, 2310.), und nun kam ſie in allgemeinen Gebrauch. Noch früher, als Gascoigne hatte Morin ſchon im Jahre 1635 den Vorſchlag gemacht, dem ſchlichten Abſehen das Fernrohr zu ſubſtituiren; aber gerade der im Brennpunkte ausgeſpannte Faden oder Drath,

Weiſe angewendet, nützt uns das Fernrohr für Winkelmeſſungen in der That eben ſo ſehr, als das Mikroſkop für Linearabmeſſungen. Indem es die Aufmerkſamkeit auf die kleinſten Punkte der Objecte concentrirt, und die ſchmalſten Unterſchiede zu auffallenden Zwiſchenräumen vergrößert, ſetzt es uns nicht allein in den Stand, die Geſtalt und Structur der Objecte, auf welche es gerichtet iſt, zu erforſchen, ſondern auch ihre ſcheinbaren Orte mit faſt geometriſcher Schärfe auf die Theile irgend einer Skale zu beziehen, mit welcher wir ſie zu vergleichen wünſchen.

133) Die einfachſte Art, die Meſſung eines Winkelabſtandes zu bewerkſtelligen, iſt die eben beſchriebene; ſtreng genommen, iſt ſie aber nur auf terreſtriſche Winkel anwendbar, nämlich auf ſolche, welche am ſcheinbaren Horizonte alle Objecte bilden, die unſern Standort umgeben, — weil nur dieſe während der Zeit, wo das Fernrohr von einem Objecte nach dem andern geführt wird, ſtationär bleiben. Aber die tägliche Bewegung des Himmels macht, indem ſie dieſe weſentliche Bedingung aufhebt, die directe Meſſung des Winkelabſtandes von einem Himmelskörper zum andern auf dieſe Weiſe unmöglich. Dieſer Einwand fällt indeſſen weg, ſobald wir nur das Interval zwiſchen den Tagekreiſen, die von zwei Himmelskörpern beſchrieben werden, zu beſtimmen ſuchen. Angenommen, jeder Stern ließe, während ſeines täglichen Umlaufes, eine ſichtbare Spur am Himmel zurück, — z. B. eine deutliche Lichtlinie, — ſo würde ein Fernrohr, welches einmal ſo auf einen Stern gerichtet iſt, daß das Bild deſſelben mit dem Durchſchnitte der Fäden zuſammentrifft, beſtändig auf einen Theil dieſer Linie gerichtet bleiben, der demnach im Geſichtsfelde des Fernrohres fortwährend als eine

---

mit welchem das Bild eines Sternes in genaue Coincidenz gebracht werden kann, iſt es, was dem Fernrohre in der Praxis den Vorzug giebt; und daran eben ſcheint Morin nicht gedacht zu haben. (Siehe Lalande, wie oben.)

helle Linie erſcheinen würde, welche beſtändig denſelben Punkt durchſchneidet, bis der Stern wieder zurückkommt. Von einer ſolchen Linie könnte nun das Fernrohr ohne Fehler beliebig nach einer andern fortbewegt werden, und man wäre mithin im Stande, den Winkelabſtand der beiden Tagekreiſe, und zwar denjenigen zu meſſen, der in der Umdrehungsebene des Fernrohres liegt. Obſchon wir nun nicht die Bahn eines Sternes am Himmel zu ſehen vermögen, ſo können wir doch abwarten, bis der Stern ſelbſt durch's Geſichtsfeld geht, und den Moment ſeines Durchganges ergreifen, um das Fadenkreuz des Geſichtsfeldes durch Bewegung des Fernrohrs ſo zu ſtellen, daß der Stern ſeinen Weg gerade durch den Durchſchnittspunkt des Kreuzes nehmen muß; wodurch wir, nachdem das Fernrohr gut befeſtigt iſt, die Lage ſeines Tagekreiſes eben ſo gut erhalten, als wenn wir fortführen, ihn noch ſo lange zu ſehen. Das Ableſen des Limbus kann alsdann mit Gemächlichkeit bewerkſtelligt werden; und wenn ein anderer Stern in die Ebene des Kreiſes tritt, ſo können wir das Fernrohr löſen, und eine ähnliche Beobachtung wird uns in den Stand ſetzen, den Ort ſeines Tagekreiſes am Kreislimbus zu beſtimmen. Dieſe Beobachtungen können jeden Tag abwechſelnd wiederholt werden, wann die Sterne durch die Kreisebene gehen, bis wir mit den Reſultaten, hinſichtlich ihrer Genauigkeit, zufrieden ſind.

134) Dieſes iſt das Princip des Mauerkreiſes, der nichts anderes iſt, als ein ſolcher Kreis, wie wir ihn im Art. 129 beſchrieben haben, und in der Ebene des Meridianes an einer langen und ſtarken Horizontalaxe ſicher getragen wird. Dieſe Axe iſt in einen maſſiven Pfeiler, oder in eine Mauer (wovon das Inſtrument den Namen hat) eingelaſſen, und ſo mit Stellſchrauben verſehen, daß ihre Lage ſowohl in verticaler als horizontaler Richtung gehörig berichtigt werden kann. Auf dieſe Weiſe kann die Axe, gleich derjenigen des Mittagsfernrohres, genau in der Richtung der Oſt- und Weſtpunkte des Horizontes erhalten werden, ſo daß

folglich die Ebene des Kreiſes mit der Meridianebene zuſammenfällt.

135) Da der Meridian alle von den Sternen beſchriebenen Tagekreiſe rechtwinklig durchſchneidet, ſo wird derjenige Theil ſeines Bogens, welcher zwiſchen zwei ſolchen Tagekreiſen liegt, den kleinſten Abſtand dieſer Kreiſe von einander meſſen, und gleich ſeyn der Differenz der Declinationen, wie auch der Differenz der Meridianhöhen der Himmelskörper, wenigſtens, nachdem ſie wegen der Strahlenbrechung berichtigt worden ſind. Dieſe Differenzen ſind nun die direct mit dem Mauerkreiſe gemeſſenen Winkelabſtände. Aus dieſen laſſen ſich aber, wenn das Geſetz der Strahlenbrechung als bekannt angenommen wird, nicht allein die Differenzen der obigen Quantitäten, ſondern dieſe ſelbſt leicht herleiten, wie ſogleich erklärt werden ſoll.

136) Die Abweichung eines Himmelskörpers iſt das Complement ſeines Polarabſtandes. Da der Pol ein Punkt im Meridian iſt, ſo könnte er direct am Limbus des Kreiſes beobachtet werden, wenn gerade in demſelben ein Stern ſtände; und ſomit könnten die Polarabſtände und folglich die Declinationen aller übrigen Sterne mit einemmale beſtimmt werden. Da dieſes aber nicht der Fall iſt, ſo wählt man einen glänzenden Stern, der dem Pole ſo nahe iſt, als man ihn nur finden kann, aus, und beobachtet ihn in ſeiner obern und untern Culmination, d. h., wenn er den Meridian über und unter dem Pole paſſirt. Da nun ſein Abſtand vom Pole derſelbe bleibt, ſo iſt die Differenz der Ableſungen des Kreiſes bei den beiden Stellungen des Sterns, nachdem ſie wegen der Strahlenbrechung berichtigt worden iſt, dem doppelten Polarabſtande des Sternes gleich, indem der am Kreislimbus durchlaufene Bogen, in dieſem Falle, dem Winkeldurchmeſſer des Tagekreiſes des betreffenden Sternes gleich iſt.

In Fig. 17 bezeichnet HPO den Meridian des Himmels, P den Pol, BR, AQ, CD die Tagekreiſe der Sterne, die bei B, A und C in ihrer obern

Culmination, und bei R, Q und D in ihrer untern Culmination den Meridian erreichen. Bei D unter andern erfolgt die untere Culmination über dem Horizonte HO. Wenn wir ferner hpo als den Mauerkreis betrachten, deſſen Mittelpunkt S iſt, ſo werden bacpd die Punkte an ſeinem Umfange ſeyn, welche den Punkten BACPD am Himmel entſprechen. Nun ſind die Bogen ba, bc, bd und cd unmittelbar durch die Beobachtung gegeben; und da CP = PD, ſo haben wir auch cp = pd, und jeden derſelben = ½ cd, folglich wird der Ort des Polarpunktes, wie man ihn zu nennen pflegt, auf dem Limbus des Kreiſes bekannt, und die Bogen pb, pa, pc, welche am Kreiſe die verlangten Polarabſtände ausdrücken, werden ebenfalls bekannt.

137) Die Lage des Polarſternes, der ſehr glänzend iſt, eignet ſich für dieſen Zweck ganz beſonders, indem er vom Pole nur etwa 1½ Grade entfernt iſt; man pflegt deshalb dieſen Stern faſt ausſchließlich für dieſen wichtigen Zweck zu wählen, und zwar um ſo mehr, weil ſeine beiden Culminationen in großen und nicht ſehr verſchiedenen Höhen ſtattfinden, mithin die Strahlenbrechungen, von welchen ſie afficirt werden, von geringem Betrag ſind und bei beiden nur wenig differiren, ſo daß die desfallſige Correction leicht und zuverläßig angebracht werden kann. Der Glanz des Polarſternes geſtattet auch, ihn bequem am Tage zu beobachten. Wegen dieſer Eigenthümlichkeiten pflegen die Aſtronomen dieſen Stern beſtändig für die Prüfung und genaue Aufſtellung faſt aller Arten von Inſtrumenten zu benutzen. Bei dem Mittagsfernrohre z. B. giebt er ein leichtes Mittel an die Hand, zu erforſchen, ob die Ebene, welche das Fernrohr durch ſeine Bewegung beſchreibt, mit der Meridianebene zuſammenfällt. Denn da die letztere Ebene den Tageskreis des Sternes in zwei Hälften theilt, ſo wird die öſtliche und weſtliche Hälfte deſſelben in gleichen Zeiträumen beſchrieben. Notirt man daher die Momente ſeiner Culminationen über und unter dem Pole, und ergiebt es ſich, daß ſie in gleichen Zeitintervallen von

12 Sternſtunden eintreten, ſo läßt ſich mit Zuverläßigkeit daraus folgern, daß die Ebene der Bewegung des Fernrohres mit der Mittagsfläche zuſammenfalle, oder daß ſeine Horizontalaxe genau nach Oſten und Weſten gerichtet ſey *). Wenn aber der Stern in ungleichen Zeiträumen von einer ſcheinbaren Culmination zur andern gelangt, ſo iſt es eben ſo gewiß, daß ſich das Inſtrument nicht in der Mittagsfläche bewegt, und daß die Abweichung nach derjenigen Seite hin ſtattfindet, auf welcher ſich der Stern die kürzere Zeit hindurch aufhält. Die Axe muß folglich im Azimuth gehörigermaßen gerückt werden, bis die fragliche Differenz bei Wiederholung der Beobachtungen verſchwindet.

138) Iſt der Ort des Polarpunktes am Limbus des Mauerkreiſes einmal beſtimmt, ſo wird er ein Anfangs- oder Nullpunkt, von welchem an die Polarabſtände aller Himmelskörper, welche anderen Punkten des Meridians und des Kreislimbus entſpre-

---

*) Hierbei wird jedoch vorausgeſetzt, daß die Horizontal- oder Drehungsaxe des (rückſichtlich ſeiner Collimationslinie vollkommen berichtigten) Mittagsfernrohrs wirklich genau in der Ebene des Horizontes liege. Denn wäre dieſes nicht der Fall, ſo könnte ſie leicht eine ſolche Lage haben, daß die Bewegungsebene des Fernrohrs dennoch durch den Pol gienge, und das Fernrohr mithin einen Stundenkreis beſchriebe, welcher die Tagekreiſe der Sterne eben ſo gut in zwei gleiche Hälften theilt, wie der Meridian, der nichts anderes iſt, als ein Stundenkreis, welcher durch das Zenith geht. Die Gleichheit der beiden Zeiten, welche der Polarſtern, oder jeder andere Circumpolarſtern, gebraucht, um von ſeinem obern Durchgange durch den mittleren Faden des Mittagsfernrohres zu dem untern Durchgange durch denſelben, und von dieſem wieder zurück bis zu jenem, zu gelangen, beweiſet daher nur, daß das Mittagsfernrohr einen Stundenkreis beſchreibt. Soll demnach dieſer vom Fernrohre beſchriebene Stundenkreis wirklich der Meridian ſeyn, ſo muß er zugleich auch ein Vertikalkreis ſeyn, mithin die Drehungsaxe des Inſtruments genau in der Ebene des Horizontes liegen, wovon man ſich durch die Waſſerwaage (Art. 125.) oder durch andere Hülfsmittel verſichert. R.

chen, gezählt werden. Es iſt einerlei, ob der wirkliche Anfang der Gradeintheilung, nämlich 0°, dort ſteht, oder nicht, weil die Bogen am Limbus des Kreiſes nur durch die Differenz der Ableſungen beſtimmt werden; und dadurch erlangt man einen großen Vortheil, indem man aufs Neue eine friſche Reihe von Beobachtungen anſtellen kann, bei welcher ein anderer Theil des Kreisumfanges angewendet wird, und andere Gradeintheilungen in Gebrauch kommen, wodurch Ungleichheiten der Eintheilung entdeckt und aufgehoben werden können. In der Praxis wird dieſes dadurch bewerkſtelligt, daß man das Fernrohr von ſeinen bisherigen Trägern am Kreiſe losmacht, und es aufs Neue an einem andern Theile des Umfanges befeſtigt.

139) Ein Punkt am Limbus des Mauerkreiſes, nicht minder wichtig als der Polarpunkt, iſt der Horizontalpunkt, welcher, wenn er einmal bekannt iſt, ebenfalls ein Anfangs- oder Nullpunkt wird, von welchem aus die Höhen gezählt werden. Das Princip ſeiner Beſtimmung iſt im Grunde ſehr nahe daſſelbe, wie dasjenige der Beſtimmung des Polarpunktes. Da am Himmelshorizonte kein Stern vorhanden iſt, wenigſtens keiner daſelbſt würde genau beobachtet werden können, ſo muß der Beobachter zwei Punkte am Limbus des Kreiſes zu beſtimmen ſuchen, von denen der eine genau um eben ſo viel unter dem Horizontalpunkte, als der andere über demſelben, liegt. Für dieſen Zweck wird ein Stern während ſeiner Culmination in der einen Nacht beobachtet, indem man das Fernrohr direct auf denſelben richtet, und ſodann in der nächſten Nacht, indem man es auf das Bild deſſelben Sternes richtet, welches von der völlig ruhigen, unbewegten Oberfläche einer Flüſſigkeit reflectirt wird. Man bedient ſich dazu gewöhnlich des Queckſilbers, das unter allen bekannten Flüſſigkeiten diejenige iſt, welche die Lichtſtrahlen am ſtärkſten reflectirt. Da die Oberfläche einer Flüſſigkeit im Zuſtande der Ruhe nothwendig horizontal iſt, und da nach optiſchen Geſetzen der Reflexionswinkel dem Ein-

fallswinkel gleich iſt, ſo wird dieſes Bild gerade um eben ſo viel unter den Horizont deprimirt ſeyn, als der Stern ſelbſt über ihm erhaben iſt, wobei jedoch auf die Differenz der Strahlenbrechung zu den verſchiedenen Zeiten der Beobachtung gehörige Rückſicht zu nehmen iſt. Der Bogen, welcher am Limbus des Kreiſes zwiſchen dem Stern und ſeinem nachher beobachteten reflectirten Bilde eingeſchloſſen iſt, iſt, wenn die Berichtigung wegen der Strahlenbrechung gemacht worden, die doppelte Höhe des Sterns, und die Hälfte deſſelben giebt den Horizontalpunkt. Die reflectirende Oberfläche einer Flüſſigkeit, deren man ſich auf dieſe Weiſe zur Beſtimmung der Höhen der Himmelskörper bedient, heißt ein künſtlicher Horizont.

140) Der Mauerkreis iſt in der That zu gleicher Zeit ein Mittagsfernrohr, und kann als ſolches benutzt werden, wenn man den Brennpunkt des Fernrohres mit einem geeigneten Syſteme vertikaler Fäden verſieht. Da aber die Axe deſſelben nur auf der einen Seite unterſtützt iſt, ſo beſitzt er nicht die Feſtigkeit und Unveränderlichkeit in ſeiner Lage, welche für den eigentlichen Zweck eines Mittagsfernrohrs nothwendig iſt; auch kann er nicht, wie letzteres, durch Umkehrung der beiden Enden ſeiner Axe aus Oſten nach Weſten geprüft werden. Nichts hindert dagegen, einen eingetheilten Kreis permanent an die Axe eines Paſſageninſtrumentes, und zwar an das eine Ende derſelben, zu befeſtigen, ſo daß er ſich mit derſelben umdreht, und das Ableſen mittelſt eines Mikroſkopes bewerkſtelligt wird, welches an dem einen ſeiner Pfeiler befeſtigt iſt. Ein ſolches Inſtrument heißt ein Paſſagenkreis oder ein Meridiankreis, und dient zu gleichzeitiger Beſtimmung der Rectaſcenſionen und Polarabſtände der damit beobachteten Himmelskörper; die Zeit der Culmination wird nach der Pendeluhr bemerkt, und den Kreis lieſt man mittelſt des ſeitwärts befindlichen Mikroſkopes ab.

141) Die Beſtimmung des Horizontalpunktes am Limbus eines Inſtrumentes iſt von ſo weſentlichem

Belang in der Aſtronomie, daß der Leſer oder Studirende alle Mittel kennen lernen muß, welche man für dieſen Zweck anwendet. Dieſe ſind: der künſtliche Horizont, das Bleiloth, die Waſſerwaage und der ſchwimmende Collimator. Der künſtliche Horizont iſt bereits erklärt worden. Das Bleiloth beſteht aus einem feinen Faden oder Draht, an welchem ein Gewicht hängt, deſſen Schwingungen dadurch verhindert und ſchnell zur Ruhe gebracht werden, daß man es in Waſſer tauchen läßt. Die Richtung, welche ein ſolches Bleiloth, vorausgeſetzt, daß der Faden vollkommen biegſam ſey, zuletzt annimmt, iſt diejenige der Schwere, oder perpendiculär zur Oberfläche des ruhigen Waſſers. Die Anwendung deſſelben für die Zwecke der Aſtronomie iſt indeſſen ſo zarter und ſchwieriger Natur, dabei auch der Begehung von Fehlern ausgeſetzt, wenn nicht außerordentliche Vorſichtsmaaßregeln angewendet werden, daß man es gegenwärtig faſt durchgehends aufgegeben, und mit der bequemern und eben ſo genauen Waſſerwaage vertauſcht hat.

142) Die Waſſerwaage oder Libelle (Fig. 18. a.) iſt weiter nichts, als eine gläſerne Röhre, die mit einer Flüſſigkeit (man nimmt jetzt allgemein zum Füllen derſelben Weingeiſt, einmal, wegen ſeiner außerordentlichen Beweglichkeit, und dann auch, weil er nicht gefriert) beinahe gänzlich angefüllt iſt, und worin die Blaſe, bei horizontaler Lage der Röhre, gleichgültig in irgend einem Theile ruhen würde, wenn die Röhre mathematiſch gerade ſeyn könnte. Da aber dieſe Bedingung unmöglich erfüllt werden kann, und jede Röhre eine ſchwache Krümmung beſitzt, ſo wird die Blaſe, wenn die convexe Seite aufwärts gekehrt wird, den höhern Theil einnehmen, wie in der Figur 18. b., wo die Krümmung abſichtlich übertrieben worden, angegeben iſt. Angenommen, daß eine ſolche Röhre, wie z. B. AB, auf einer geraden Unterlage CD befeſtigt, und bei ab mit zwei Punkten verſehen ſey, die gerade ſo weit auseinander liegen, als die Länge der Blaſe beträgt, ſo leuchtet ein, daß, wenn das Inſtrument ſo geſtellt wird, daß die Blaſe dieſen Zwi-

ſchenraum einnimmt, CD keine andere, als eine beſtimmte Neigung gegen den Horizont haben könne, weil, bei der geringſten Bewegung auf die eine oder die andere Seite die Blaſe ihren Ort verlaſſen und nach der höhern Seite ſich begeben würde. Soll nun z. B. unterſucht werden, ob eine gegebene Linie P Q horizontal iſt, ſo ſetze man die Baſis CD der Libelle auf dieſe Linie, und bemerke die Punkte a und b, zwiſchen welchen die Blaſe genau enthalten iſt; dann drehe man die Libelle ganz um, ſo daß C nach Q, und D nach P kommt. Wenn alsdann die Blaſe wieder denſelben Ort zwiſchen a und b einnimmt, ſo iſt klar, daß P Q keine andere als eine horizontale Lage haben könne. Im entgegengeſetzten Falle iſt diejenige Seite am höchſten, nach welcher ſich die Blaſe begiebt, und ſie muß daher tiefer geſtellt werden. Aſtronomiſche Libellen ſind mit einer eingetheilten Skale verſehen, mittelſt welcher man die Orte der Enden der Blaſe ſcharf bemerken kann; und man behauptet, daß dieſelben ſo empfindlich ausgeführt werden können, daß eine Winkelabweichung von genauer Horizontalität von dem Betrage einer einzigen Secunde durch ſie angezeigt wird.

143) Die Art, wie eine Libelle angewendet werden kann, um den Horizontalpunkt am Limbus eines eingetheilten Vertikalkreiſes zu finden, kann ſo erklärt werden: Es ſey AB (Fig. 19.) ein an einem ſolchen Kreiſe CEF gut befeſtigtes Fernrohr, welches zugleich mit demſelben um die Horizontalaxe C ſich bewegt, die, wie bei einem Mittagsfernrohre, muß umgekehrt werden können (ſiehe Art. 127.), und mit welcher der Kreis unzertrennbar verbunden iſt. Man richte das Fernrohr nach irgend einem entfernten und gut begrenzten Objecte S, und halbire daſſelbe genau mittelſt des Horizontalfadens des Fernrohres, in welcher Lage das Inſtrument feſtgeſtellt wird. L ſey eine Libelle, welche rechtwinklig auf dem Arme EF befeſtigt iſt, der bei F mit einem Mikroſkop oder Vernier, und ſo auch, wenn man will, bei E verſehen iſt. Dieſer Arm paßt genau auf die Axe C, ſo daß er ſich ſanft um die-

ſelbe drehen läßt, ohne ſie ſelbſt in Umdrehung zu verſetzen, und auch an ihr feſtgeſtellt werden kann, damit er ſich nicht eher bewege, als bis es erforderlich iſt. Während das Fernrohr auf das Object S gerichtet erhalten wird, ſtelle man die Libelle ſo, daß ihre Blaſe zwiſchen die Marken a und b kommt, und befeſtige ſie in dieſer Stellung. Alsdann wird der Arm E F eine gewiſſe beſtimmte Neigung (gleichgültig welche) gegen den Horizont haben. In dieſer Lage leſe man den Kreis bei F ab, und kehre dann den ganzen Apparat um, indem man das eine Ende der Horizontalaxe an den Ort bringt, den vorher das andere Ende einnahm, ohne jedoch den Arm, welcher die Libelle trägt, von der Axe zu löſen. Iſt dieſes geſchehen, ſo bringe man, durch Drehung des ganzen Inſtrumentes (ſammt der Libelle) um ſeine Axe, die Blaſe der Libelle wieder zwiſchen a und b in ihre horizontale Lage. Nun iſt man ſicher, daß das Fernrohr jetzt dieſelbe Neigung gegen den Horizont, und zwar in entgegengeſetzter Richtung von derjenigen habe, die es beſaß, als es auf S gerichtet war; und die Ableſung bei F wird unverändert dieſelbe geblieben ſeyn. Jetzt löſe man die Libelle, und drehe, indem man ſie ziemlich horizontal erhält, den Kreis um ſeine Axe, ſo daß das Fernrohr durch das Zenith nach S zurückgeführt wird, und in dieſer Lage ſtelle man den Kreis ſammt dem Fernrohre feſt. Es leuchtet nun ein, daß ein Winkel, gleich dem doppelten Zenithabſtand des Objects S, von der optiſchen Axe des Fernrohres, von ihrer letzten Lage an, durchlaufen worden iſt. Ohne nun das Fernrohr und den Kreis zu löſen, bringe man endlich die Libelle noch einmal in ihre richtige Lage. Es wird alsdann der Arm L E F nochmals dieſelbe beſtimmte Lage in Bezug auf den Horizont annehmen; und wenn folglich der Kreis nunmehr wieder abgeleſen wird, ſo muß die Differenz zwiſchen dieſer und der vorigen Ableſung denjenigen Bogen ſeines Umfanges meſſen, welcher unter den Punkt F durchgegangen iſt, den man ſo betrachten kann, als habe er die ganze Zeit hindurch eine unveränderliche Lage behalten. Dieſe

Differenz wird dann der doppelte Zenithabſtand von S, und die Hälfte derſelben der einfache Zenithabſtand ſeyn, deſſen Complement die Höhe von S iſt. Auf dieſe Art wird die Höhe bekannt, welche einer gegebenen Ableſung des Limbus entſpricht, oder mit andern Worten, es iſt der Horizontalpunkt auf dem Limbus des Kreiſes ausgemittelt. Wie weitläufig auch dieſes Verfahren erſcheinen möge, ſo giebt es doch keine andere Art, die Libelle für dieſen Zweck anzuwenden, welche nicht am Ende auf jenes hinausliefe. Sehr häufig benutzt man indeſſen die Libelle als ein bloßes Verſicherungsmittel, um einen Horizontalpunkt, der bereits auf andere Weiſe gut beſtimmt iſt, ſich zu erhalten; und dieſes geſchieht dadurch, daß man die Libelle genau einſtellt, und den Inder ihres Trägers am Kreislimbus abliest, wenn das Fernrohr genau die horizontale Richtung hat, welche Verſicherung des Horizontalpunktes jedoch ganz auf der Permanenz dieſer Berichtigung der Libelle beruht. *)

144) Das letzte Mittel, den Horizontalpunkt

---

*) Da die Ausdehnung und Zuſammenziehung des in die Glasröhre gefüllten Weingeiſtes durch die Wärme und Kälte weit beträchtlicher iſt, als die der Glasröhre ſelbſt, ſo nimmt die Blaſe bei jeder Temperaturveränderung eine andere Länge an. Hat man daher die Libelle ſo berichtigt, daß, bei horizontaler Lage des Fernrohrs, die Endpunkte der Blaſe, dieſſeits und jenſeits von der Mitte der Libellenſkale, um gleich viele Theile derſelben von dieſer Mitte abſtehen, ſo braucht man, welche Temperatur auch ſtattfinden, und welche Länge die Blaſe alſo auch haben möge, nur darauf zu ſehen, daß die Endpunkte der Blaſe immer um gleich viele Theile auf beiden Seiten von der Mitte der Skale abſtehen, wo denn der Arm, welcher die Libelle trägt, dieſelbe Stellung gegen den Horizont haben wird, als zur Zeit ihrer Berichtigung, vorausgeſetzt, daß die Libelle ſelbſt nicht ihre Lage gegen den Arm, der ſie trägt, in der Zwiſchenzeit geändert habe, was freilich durch die Einwirkung der Temperatur auf die Ausdehnung und Spannung der Metalle nicht ſelten geſchieht. (Siehe Art. 103.) N.

zu beſtimmen, welches wahrſcheinlich nicht das am wenigſten genaue, ſicherlich aber in unzähligen Fällen das bequemſte unter allen iſt, gewährt der ſchwimmende Collimator (Fig. 20.), eine neue Erfindung des Capitains Kater. Dieſes zierliche Inſtrument iſt weiter nichts, als ein kleines Fernrohr, in ſeinem Brennpunkte mit einem Fadenkreuze verſehen, und horizontal, oder doch ſo viel als möglich horizontal, auf einem ebenen eiſernen Schwimmer befeſtigt, der auf Queckſilber ſchwimmt, und folglich, wenn er ſich ſelbſt überlaſſen wird, immer eine und dieſelbe unveränderliche Neigung gegen den Horizont annimmt. Wenn die Kreuzfäden des Collimators von der Seite des Oculars her durch eine Lampe erleuchtet werden, ſo laufen, da ſie ſich im Brennpunkte des Objectivglaſes befinden, die Strahlen von ihnen außerhalb des Objectivs parallel, und ſie können deshalb von dem Objectivglaſe eines andern Fernrohrs in einem Brennpunkte vereinigt werden, wo ſie ein Bild geben, als ob ſie von einem in ihrer Richtung befindlichen Himmelskörper kämen, d. h. von einem ſolchen, deſſen Höhe ihrer Neigung gegen den Horizont gleich iſt. Es kann alſo der Durchſchnittspunkt des Collimatorkreuzes beobachtet werden, als ob er ein Stern ſey, und zwar kann dieſes geſchehen, wie nahe auch die beiden Fernröhre einander ſtehen mögen. Indem man nun den Collimator, auf dem mit Queckſilber gefüllten Gefäße fortwährend ſchwimmend, von der einen Seite eines Kreiſes an die andere bringt, erhält man gleichſam zwei Himmelskörper von genau gleichen Höhen an entgegengeſetzten Seiten des Kreismittelpunkts; und wenn dieſe nach einander mit dem Fernrohre des Kreiſes beobachtet werden, ſo daß das Fadenkreuz des Fernrohrs das Bild des Collimatorkreuzes halbirt (für welchen Zweck man den Fäden des letztern Kreuzes abſichtlich eine Neigung von 45° gegen den Horizont gegeben hat, ſiehe Fig. 21.), ſo wird die Differenz der Ableſungen am Limbus des Kreiſes den doppelten Zenithabſtand eines jeden Bildes geben, woraus, wie

im letzten Artikel, der Horizontal= oder Zenithpunkt unmittelbar beſtimmt wird.*)

---

*) Eine andere und in manchen Hinſichten vorzüglichere Form des ſchwimmenden Collimators, bei welcher das Fernrohr eine vertikale Richtung hat, und wodurch der Zenithpunkt direkt ausgemittelt wird, findet man von demſelben Erfinder in den Philosophical Transactions 1828. p. 257. beſchrieben. — Anm. d. Verfaſſers. Zuſatz. Die in der Erklärung des Collimators erwähnte und der Idee dieſes Inſtrumentes hauptſächlich zum Grunde liegende Eigenſchaft der Fernröhre, die darin beſteht, daß man das auf irgend eine Art erleuchtete Fadennetz eines Fernrohrs durch ein ihm gegenüber geſtelltes zweites Fernrohr, wie einen Himmelskörper, deutlich beobachten kann, iſt noch auf eine andere Art benutzt worden, um den Horizontalpunkt der Kreiſe zu beſtimmen. Da gerade dieſe Methode der Beſtimmung des Horizontalpunktes, deren erſte Veröffentlichung wir dem verſtorbenen Prof. Bohnenberger in Tübingen verdanken (Schuhmacher's aſtronomiſche Nachrichten, Band IV. S. 327 ff.), unſtreitig unter allen die genaueſten und ſchärfſten Reſultate giebt, ſo iſt es hier nicht am unrechten Orte, auch ſie, ihren Hauptgrundzügen nach, kurz zu beſchreiben. Man denke ſich zwiſchen dem Fadennetze und dem Augendeckel des Kreisfernrohres, oder, wenn zwiſchen dem Fadennetze und dem Auge zwei Oculare befindlich ſind, zwiſchen dieſen beiden ſelbſt, in der Ocularröhre eine Seitenöffnung angebracht, und innerhalb der Ocularröhre an dieſer Stelle einen kleinen in der Mitte durchbohrten Spiegel, der unter einem Winkel von 45° gegen die Ebene des Fadennetzes geneigt iſt, ſo wird eine vor die Seitenöffnung geſtellte Lampe ihr Licht vermittelſt des ſchräg ſtehenden Spiegels auf das Fadennetz werfen, und dieſes dadurch erleuchtet werden. Der Spiegel iſt deshalb in der Mitte durchbohrt, damit er das Geſichtsfeld des Fernrohrs nicht gänzlich verdecke, und die mit demſelben direkt anzuſtellenden Beobachtungen nicht hindere. (Der Hülfsmittel, um das Fadennetz von der Seite her zu beleuchten, und doch durch ſie das Geſichtsfeld nicht, wenigſtens nicht gänzlich, zu verdecken, giebt es noch mehrere andere; bei allen aber muß die Bedingung ſtattfinden, daß ſie zwiſchen dem Fadennetze und dem Orte des Auges angebracht ſind.) Nun gebe man dem Kreisfernrohre eine nahe zu ſenkrechte Stellung, das Objectiv nach unten gerichtet, und ſtelle unter daſſelbe ein Gefäß mit Queckſilber, ſo wird ſich in dieſem das Fernrohr mit ſeinem erleuchteten Faden=

145) Das Paſſageninſtrument und der Mauerkreis ſind ihrem Weſen nach Meridianinſtrumente, indem ſie nur gebraucht werden, um die Sterne zur Zeit ihres Durchganges durch den Meridian zu beobachten. Abgeſehen davon, daß dieſer Moment der günſtigſte iſt für ihre Beobachtung, ſo iſt er zugleich auch derjenige, in welchem ihre tägliche Bewegung dem Horizonte parallel iſt. Es iſt deshalb zu dieſer Zeit leichter, als zu jeder andern, das Fernrohr genau auf ſie zu richten; und weil ihr ſcheinbarer Lauf im Geſichtsfelde dem horizontalen Faden des im Fernrohre befindlichen Fadennetzes parallel iſt, ſo kann man ſie durch eine feine Bewegung des Fernrohrs ge-

---

netze abſpiegeln, und dieſes Bild des Fernrohrs wird als ein zweites Fernrohr betrachtet werden können, das dem erſteren gerade gegenüber ſteht, und deſſen erleuchtetes Fadennetz wiederum in dem Brennpunkte des erſteren ein Bild geben wird, welches man mit dieſem eben ſo beobachten kann, wie das erleuchtete Fadenkreuz des Collimatorfernrohrs mit dem Kreisfernrohre beobachtet wird. Man ſieht alſo auf dieſe Weiſe im Geſichtsfelde des Fernrohrs nicht nur *das wirkliche Fadennetz*, ſondern auch *das von der Oberfläche des Queckſilberhorizontes reflectirte Bild* deſſelben; und wenn man nun durch eine feine Bewegung des Fernrohrs den Horizontalfaden des Netzes mit ſeinem Bilde zur genauen Coincidenz bringt, ſo iſt einleuchtend, daß alsdann die optiſche Axe des Fernrohrs genau ſenkrecht ſtehen wird, und daß man ſolchergeſtalt am Kreislimbus die Lage des *Nadirs*, alſo auch des Horizontalpunktes, erhält. Dieſe Beſtimmung iſt vorzüglich deshalb ſehr ſcharf, weil ein Fehler im Richten des Fernrohrs ſich, wegen der Reflexion, im Geſichtsfelde deſſelben ſogleich verdoppelt zeigt, alſo umgekehrt ein bei der Zuſammenbringung des Horizontalfadens mit ſeinem Bilde etwa begangener Sehfehler nur zur Hälfte auf die Beſtimmung des Nadirpunktes am Kreislimbus einwirkt. — Daß dieſe Methode auch bei einem Mittagsfernrohre, dadurch daß man den rückſichtlich der Collimation genau berichtigten mittleren Vertikalfaden mit ſeinem vom Queckſilberhorizonte reflectirten Bilde in ſcharfe Coincidenz bringt, die vorzüglichſten Dienſte leiſtet, um die Drehungsaxe des Inſtruments genau horizontal zu ſtellen, leuchtet von ſelbſt ein.

N.

nau mit dieſem Faden coincidiren laſſen, und man hat Zeit, dieſe Coincidenz zu unterſuchen und zu berichtigen, wenn ſie vielleicht nicht gleich anfangs genau gelingt; welches Alles bei keiner andern Lage der Fall iſt. Ueberhaupt ſollten alle Winkelgrößen, an deren genauer Beſtimmung gelegen iſt, wo möglich, zur Zeit ihres Maximums oder Minimums beobachtet werden, weil ſie ſich bei dieſen Punkten lange genug nicht merkbar verändern, um unſere Beobachtungen ſorgfältig und bequem vollenden, und ſie ſogar in manchen Fällen wiederholen und beſtättigen zu können. Der Winkel, welcher in dem vorliegenden Falle in dieſe Kategorie gehört, iſt die Höhe des Sterns, die ihr Maximum oder Minimum im Meridiane erreicht, und daſelbſt am Limbus des Mauerkreiſes gemeſſen wird.

146) Die Zwecke der Aſtronomie erfordern indeſſen, daß ein Beobachter die Mittel beſitze, einen Himmelskörper nicht allein direct im Meridian, ſondern in jedem Punkte ſeiner täglichen Bahn, oder wo er ſich am Himmel zeigen mag, zu beobachten. Nun wird die Lage eines Punktes an der Himmelskugel beſtimmt, dadurch, daß man ihn auf zwei größte Kreiſe bezieht, die mit einander rechte Winkel bilden, oder auf zwei Kreiſe, von denen der eine durch den Pol des andern geht. Nach einem geometriſchen Ausdrucke ſind es Coordinatenkreiſe, durch welche die Lage des Punktes feſtgeſtellt wird. Auf der Erde iſt z. B. ein Ort bekannt, wenn wir ſeine Länge und Breite kennen; am Himmel, wenn wir ſeine Rectaſcenſion und Declination kennen; an der ſichtbaren Halbkugel, wenn wir ſein Azimuth und ſeine Höhe kennen, u. ſ. w.

147) Um einen Himmelskörper in jedem Punkte ſeiner täglichen Bahn zu beobachten, müſſen wir die Mittel beſitzen, ein Fernrohr auf denſelben zu richten, welches deshalb in zwei zu einander rechtwinkligen Ebenen muß bewegt werden können; und der Betrag ſeiner Winkelbewegung in jeder Ebene muß an zwei einander coordinirten Kreiſen gemeſſen werden, deren Ebenen mit denjenigen, in welchen ſich das Fernrohr bewegt, parallel ſeyn müſſen. Die praktiſche

Erfüllung dieſer Bedingungen wird bewirkt, wenn man die Axe des einen Kreiſes durch diejenige des andern unter einem rechten Winkel hindurchgehen läßt. Die durchbohrte Axe dreht ſich auf feſten Unterlagen, während die andere in keiner Verbindung mit irgend einer äußeren feſten Unterſtützung ſteht, ſondern gänzlich von derjenigen getragen wird, durch welche ſie geht, und welche an dieſer Durchgangsſtelle verſtärkt und dicker gemacht wird. Fig. 22. ſtellt die einfachſte Form einer ſolchen Combination dar, die jedoch im Punkte des Mechanismus keinesweges die beßte iſt. Die beiden Kreiſe werden mit Hülfe von Verniers oder Mikroſkopen abgeleſen. Das eine Mikroſkop iſt an der feſten Unterlage angebracht, welche die Hauptaxe trägt, und das andere an einem Arme, welcher aus dieſer Axe hervorſpringt. Beide Kreiſe laſſen ſich feſtſtellen, und die Klemmen ſind ebenfalls da befeſtigt, wo der Apparat für das Ableſen der Kreiſe angebracht iſt.

148) Eine ſolche Combination muß, wie auch die Hauptaxe derſelben gerichtet ſeyn möge (wenn nur ihre Richtung unveränderlich iſt), uns offenbar in den Stand ſetzen, die Lage irgend eines Himmelskörpers, in Bezug auf den Standpunkt des Beobachters, durch Winkel zu beſtimmen, welche auf zwei größten Kreiſen der ſichtbaren Hemiſphäre gezählt werden, von denen der eine die Verlängerungen der Hauptaxe, oder die verſchwindenden Punkte eines Syſtems von mit der Hauptaxe parallel laufenden Linien, zu ſeinen Polen hat, der andere dagegen immer durch dieſe Pole geht; denn der erſte größte Kreis iſt die verſchwindende Linie aller dem Kreiſe A B parallel liegenden Ebenen, während der letztere, in jeder Lage des Inſtrumentes, die verſchwindende Linie aller Ebenen iſt, welche mit dem Kreiſe G H parallel ſind; und da dieſe beiderſeitigen Ebenen, in Folge der Conſtruction des Inſtrumentes, rechtwinklig auf einander ſtehen, ſo muß dieſes auch der Fall bei den größten Kreiſen ſeyn, welche die verſchwindenden Linien dieſer Ebenen ſind. Wenn nun zwei größte Kreiſe einer Kugel rechtwinklig zu einan-

der ſtehen, ſo muß der eine immer durch die Pole des andern gehen.

149) Es giebt indeſſen nur zwei Lagen, in welchen ein ſolcher Apparat ſo aufgeſtellt werden kann, daß er in der Aſtronomie einigen praktiſchen Nutzen gewährt. Die erſte iſt die, wenn die Hauptaxe C D der Erdaxe parallel liegt und alſo die Richtung der Weltpole hat, welche die verſchwindenden Punkte aller Linien in dieſem Syſteme von Parallelen ſind; und wenn demnach die Ebene des Kreiſes A B dem Erdäquator parallel iſt, ſo daß der Aequinoctialkreis den verſchwindenden Kreis deſſelben bildet, und durch die an ihm abgeleſenen Bogen Stundenwinkel oder Rectaſcenſionsdifferenzen gemeſſen werden. In dieſem Falle ſind die größten Kreiſe am Himmel, welche den verſchiedenen Lagen entſprechen, die man dem Kreiſe G H durch Umdrehung des Inſtrnmentes um ſeine Axe C D geben kann, ſämmtlich Stundenkreiſe; und die an dieſem Kreiſe abgeleſenen Bogen ſind Declinationen, oder Polabſtände, oder ihre Differenzen.

150) In dieſer Lage heißt der Apparat ein A e q u a t o r e a l, oder, wie man ihn ſonſt zu nennen pflegte, ein p a r a l l a c t i ſ ch e s Inſtrument. Es iſt eines der bequemſten für alle ſolche Beobachtungen, bei welchen man den Himmelskörper lange Zeit vor Augen haben will; denn, wenn das Fernrohr einmal auf ihn gerichtet iſt, ſo kann man ihn, ſo lange man Luſt hat, mittelſt einer e i n z i g e n B e w e g u n g verfolgen, indem man den ganzen Apparat lediglich nur um ſeine Polaraxe dreht. Weil nämlich, wenn das Fernrohr auf einen Stern gerichtet iſt, der Winkel zwiſchen ſeiner Richtung und derjenigen der Polaraxe gleich iſt dem Polabſtande des Sternes, ſo folgt daraus, daß, wenn das Inſtrument um ſeine Axe gedreht wird, ohne die Lage des Fernrohres am Kreiſe G H zu verändern, der Punkt, auf welchen letzteres gerichtet iſt, immer in dem kleinen Himmelskreiſe liegen müſſe, der dem täglichen Laufe des Sternes entſpricht. Bei manchen Beobachtungen iſt dieſes ein unſchätzbarer Vortheil, den kein anderes Inſtrument zu gewähren vermag.

Das Aequatoreal wird auch benutzt, um den Ort eines unbekannten Himmelskörpers durch Vergleichung desſelben mit demjenigen eines bekannten zu beſtimmen, was im vierten Capitel ausführlicher beſchrieben werden wird. Die Berichtigungen eines Aequatoreals ſind etwas complicirt und ſchwierig. Am beßten erreicht man dieſen Zweck, wenn man den Polarſtern durch ſeinen ganzen Tagekreis verfolgt, und in gehörigen Zwiſchenzeiten andere Hauptſterne beobachtet, deren Orte gut beſtimmt ſind.*)

151) Die andere Lage, in welcher ein ſolcher zuſammengeſetzter Apparat, wie wir ihn in Art. 147. beſchrieben haben, vortheilhaft aufgeſtellt werden kann, iſt diejenige, in welcher die Hauptaxe eine vertikale Lage hat, und folglich der eine Kreis AB dem Himmelshorizonte, und der andere GH einem Vertikalkreiſe des Himmels entſpricht. Die an erſterem gemeſſenen Winkel ſind demnach Azimuthe oder Azimuthaldifferenzen, und die an letzterem gemeſſenen ſind Zenithabſtände oder Höhen, je nachdem die Gradeintheilung vom obern Punkte ſeines Limbus oder von einem Punkte beginnt, der von dem oberen um 90° entfernt iſt. Dieſer Apparat iſt deshalb unter dem Namen eines Azimuthal- und Höheninſtrumentes bekannt. Die vertikale Lage ſeiner Hauptaxe wird entweder durch ein vom obern Ende herabhängendes Bleiloth hergeſtellt, welches, wenn das Inſtrument um dieſe Axe gedreht wird, beſtändig ein und daſſelbe Verſicherungszeichen am untern Ende ſchneiden muß, oder durch eine Libelle, welche an derſelben direct in Querrichtung befeſtigt iſt, deren Blaſe ihren Ort nicht verändern darf, wenn das Inſtrument im Azimuth bewegt wird. Der Nord- oder Südpunkt am Horizontalkreiſe wird dadurch beſtimmt, daß man den Vertikalkreis nach denſelben Merkmalen, welche für die

---

*) Siehe Littrow on the Adjustment of the Equatorial. — Mem. Astron. Soc. Vol. II. p. 45.

Azimuthalberichtigung des Mittagsfernrohres dienen (Art. 137.), mit der Ebene des Meridianes coincidiren läßt, und in dieſer Lage die Ableſung des Azimuthalkreiſes notirt; oder man bedient ſich auch dazu des nachfolgenden Verfahrens.

152) Man beobachtet einen hellen Stern in beträchtlicher öſtlicher Entfernung vom Meridiane, indem man ihn auf das Fadenkreuz des Fernrohres bringt. In dieſer Lage wird der Horizontalkreis abgeleſen, und das Fernrohr ſorgfältig am Vertikalkreiſe befeſtigt. Wenn der Stern durch den Meridian gegangen iſt und in ſeinem täglichen Laufe wieder herabſteigt, ſo verfolgt man ihn, indem man das ganze Inſtrument rund um nach Weſten bewegt, ohne jedoch das Fernrohr zu löſen, bis er ins Geſichtsfeld kommt, und bis durch Fortſetzung der horizontalen Bewegung der Stern und das Fadenkreuz nochmals coincidiren. In dieſer Lage muß der Stern offenbar genau dieſelbe Höhe über dem weſtlichen Horizonte haben, welche er im Augenblicke der erſten Beobachtung über dem öſtlichen Horizonte beſaß. An dieſem Punkte ſtellt man die Bewegung ein, und der Horizontalkreis wird abermals abgeleſen. Die Differenz der Ableſungen giebt den in der Zwiſchenzeit beſchriebenen Azimuthalbogen. Nun iſt es einleuchtend, daß, wenn die Höhen eines Sternes auf jeder Seite des Meridians gleich ſind, auch die Azimuthe deſſelben, mag man nun beide vom Nordpunkte oder beide vom Südpunkte des Horizontes an zählen, ſich ebenfalls gleich ſeyn müſſen; es muß folglich der Nord- oder Südpunkt des Horizontes den auf dieſe Weiſe beſtimmten Azimuthalbogen halbiren, und eben dadurch bekannt werden.

153) Dieſe Methode, die Nord- und Südpunkte eines Horizontalkreiſes zu beſtimmen (und ſind dieſe Punkte bekannt, ſo kann man eine Mittagslinie ziehen), heißt die Methode der gleichen Höhen, und ſie iſt in der praktiſchen Aſtronomie von vielfachem und beſtändigem Gebrauche. Notirt man für die Mo-

mente der beiden Beobachtungen an einer Pendeluhr oder einem Chronometer die Zeit, ſo wird der Zeitpunkt, welcher mitten zwiſchen inne liegt, der Moment ſeyn, in welchem der Stern durch den Meridian gieng, der ſich alſo auf dieſe Weiſe ohne ein Mittagsfernrohr beſtimmen läßt; und umgekehrt kann durch dieſes Verfahren der Fehler einer Pendeluhr oder eines Chronometers beſtimmt werden. Für dieſen letztern Zweck braucht das Inſtrument gar nicht mit einem Horizontalkreiſe verſehen zu ſeyn. Jedes Mittel, durch welches Höhen gemeſſen werden können, ſetzt uns in den Stand, die Momente zu beſtimmen, in welchen derſelbe Stern gleiche Höhen in der öſtlichen und weſtlichen Hälfte ſeines täglichen Laufes erreicht; und ſind dieſe einmal bekannt, ſo iſt auch der Augenblick bekannt, in welchem der Stern culminirt, ſo wie der Fehler der Pendeluhr.

154) Einer der Hauptzwecke, für welche der Azimuthal- und Höhenkreis ſich benutzen läßt, iſt die Erforſchung des Betrages und der Geſetze der Strahlenbrechung. Denn verfolgt man mit dieſem Inſtrumente einen Circumpolarſtern, welcher durch das Zenith geht, und einen andern, welcher den Horizont ſtreift, durch ihren ganzen Tageslauf, ſo kann die ſcheinbare Geſtalt ihrer täglichen Bahnen, oder die Ovale, in welche ihre Kreiſe ſich durch die Wirkung der Strahlenbrechung verwandeln, genau ausgemittelt werden, und ihre Abweichung von Kreiſen, welche in jedem Momente, vermöge der Natur der Beobachtung, in der Richtung gegeben wird, in welcher die Strahlenbrechung ſelbſt ſtattfindet (d. h. in Höhe) wird ſo ein Gegenſtand directer Beobachtung.

155) Der Zenithſector und der Theodolit ſind beſondere Modificationen des Höhen- und Azimuthalinſtrumentes. Der erſtere iſt eingerichtet für die ganz genaue Beobachtung der Sterne in, oder nahe am Zenith, indem er eine ſehr lange Vertikalaxe hat, und von dem ganzen Vertikalkreiſe nur einen Umfang

von wenigen Graden an ſeinem unteren Theile, wodurch man eine große Länge des Radius und folglich eine verhältnißmäßige Erweiterung der Abtheilungen ſeines Bogens erhält. Das letztere Inſtrument, nämlich der Theodolit, iſt hauptſächlich für die Meſſung horizontaler Winkel zwiſchen terreſtriſchen Objecten beſtimmt, wobei das Fernrohr nie mehr als einige Grade erhoben zu werden braucht. An demſelben fehlt deshalb der Vertikalkreis entweder gänzlich, oder er iſt nach einem kleinern Maasſtabe und mit geringerer Genauigkeit ausgeführt; während dagegen große Sorgfalt verwendet wird, um die Ebene der Bewegung des Fernrohrs genau perpendiculär zu erhalten, weßhalb die Horizontalaxe des Fernrohres auf zwei Stützen ruht, welche den ſteinernen Pfeilern eines Paſſageninſtrumentes ähnlich ſind; dieſe aber ruhen feſt auf den Speichen des Horizontalkreiſes, und drehen ſich mit demſelben.

156) Das letzte Inſtrument, welches wir beſchreiben wollen, iſt ein ſolches, durch deſſen Hülfe der Winkelabſtand von irgend zwei Objecten direct gemeſſen, oder die Höhe eines einzelnen beſtimmt werden kann, indem man ſeinen Abſtand entweder vom ſcheinbaren Horizonte (z. B. vom Meereshorizonte, mit Berückſichtigung der Depreſſion deſſelben), oder von ſeinem eigenen, von der Oberfläche eines Queckſilberhorizontes reflectirten, Bilde mißt. Dieſes Inſtrument iſt der Sextant, oder Quadrant, gewöhnlich der Hadley'ſche genannt, weil man Hadley als den Erfinder deſſelben angiebt, wiewohl die Priorität der Erfindung ohne Zweifel Newton zuſteht, deſſen Anſprüche auf die Dankbarkeit des Schiffers auf dieſe Weiſe verdoppelt werden, indem er ſowohl die einzige Theorie angegeben hat, nach welcher der Seefahrer ſein Schiff ſicher zu leiten im Stande iſt, als auch zugleich das einzige Inſtrument, welches benutzt werden kann, um dieſe Theorie für ihre nautiſchen Zwecke anzuwenden. *)

---

*) Newton theilte das Inſtrument dem Dr. Halley mit, der es unterdrückte. Nach Halley's Tode fand man die

157) Das Princip dieſes Inſtrumentes beruht auf der optiſchen Eigenſchaft reflectirter Strahlen, welche darin beſteht, daß der Winkel zwiſchen der erſten und letzten Richtung eines Strahles, welcher zweimal in einer und derſelben Ebene reflectirt wurde, gleich iſt der doppelten Neigung der reflectirenden Oberflächen gegen einander.

Es ſey AB (Fig. 23.) der graduirte Limbus eines Kreisbogens von 60°, der aber in 120 gleiche Theile getheilt iſt. An den Radius CB werde ein mit Silber belegtes Planglas D rechtwinklig zur Ebene des Kreiſes befeſtigt, und eben ſo ſey an dem beweglichen Radius CE ein anderes gleichfalls mit Silber belegtes Glas C befeſtigt. Das Glas D iſt ein für allemal parallel mit AC befeſtigt, und nur die eine Hälfte deſſelben iſt mit Silber belegt, ſo daß man durch die andere Hälfte Objecte ſehen kann. Das Glas C iſt ganz mit Silber belegt, und ſeine Ebene parallel mit der Länge des beweglichen Radius CE, an deſſen Ende E ein Vernier angebracht iſt, um damit die Eintheilungen des Limbus abzuleſen. An dem Radius AC iſt ein Fernrohr F angebracht, durch welches irgend ein Object Q vermöge der directen Strahlen, welche durch den unbelegten Theil des Glaſes D ihren Weg nehmen, geſehen werden kann, während ein anderes Object P durch daſſelbe Fernrohr vermöge der Strahlen geſehen wird, welche, nach der Reflexion bei C, auf den belegten Theil des Glaſes D geworfen, und von da durch eine zweite Reflexion in das Fernrohr

---

Beſchreibung des Inſtrumentes, von Newton's eigener Hand, unter ſeinen nachgelaſſenen Papieren, und ſie wurde vom Teſtamentsvollzieher deſſelben der Royal Society, 25 Jahre nach Newton's Tode und 11 Jahre nach der Bekanntmachung von Hadley's Erfindung, mitgetheilt, welcher letztere wahrſcheinlich gar nichts von Newton's Erfindung kannte, wiewohl Hutton das Gegentheil behauptet.

gerichtet worden ſind. Die ſo entſtandenen beiden Bilder erblickt man im Geſichtsfelde zu gleicher Zeit, und wenn man den Radius CE gehörig bewegt, ſo nähern ſie ſich einander, und gehen (wenn die beiden reflectirenden Gläſer genau ſenkrecht auf der Ebene des Kreiſes ſtehen) über einander weg, ohne ſich gegenſeitig zu verwiſchen. Die Bewegung wird indeſſen gehemmt, ſobald die Bilder über einander ſtehen, und in dieſem Momente beträgt der Winkel, welcher zwiſchen der Richtung CP des einen Objectes und der Richtung FQ des andern liegt, doppelt ſo viel, als der Winkel ECB, welcher von dem feſten Radius CB und dem beweglichen CE eingeſchloſſen wird. Nun ſind die Gradabtheilungen des Limbus abſichtlich nur halb ſo groß gemacht werden, als ſie eigentlich ſeyn müßten, wenn ſie ganzen Graden entſprechen ſollten, und lieſt man daher den Bogen BE ſo ab, als wenn die Gradabtheilungen ganze Grade bedeuteten, ſo hat man in der That das Doppelte ſeines wahren Betrages, und deshalb drücken die abzuleſenden Zahlen nicht den Winkel ECB, ſondern das Doppelte deſſelben, nämlich den Winkel aus, welcher zwiſchen den beobachteten Objecten liegt.

158) Die wirklichen Winkelabſtände der Sterne von einander durch directe Beobachtungen zu beſtimmen, iſt verhältnißmäßig von geringem Nutzen, aber in der nautiſchen Aſtronomie iſt das Meſſen ihrer Abſtände vom Monde und dasjenige ihrer Höhen von weſentlichem Belange; und da der Sextant keiner feſten Unterſtützung bedarf, ſondern in der Hand gehalten und an Schiffsbord gebraucht werden kann, ſo leuchtet damit die Nützlichkeit dieſes Inſtrumentes auf einmal ein. Für Höhenmeſſungen auf der offenen See gewährt der Meereshorizont das einzige Hülfsmittel, indem man daſelbſt weder von der Waſſerwaage, noch von dem Bleilothe, noch von dem künſtlichen Horizonte Gebrauch machen kann; das durch Reflexion geſehene Bild des beobachteten Sternes wird nämlich mit dem Meereshorizonte, den man durch directe Strahlen

ſieht, zur Coincidenz gebracht. Auf dieſe Weiſe wird die Höhe über dem Meereshorizonte gefunden, und dieſe giebt, wenn ſie wegen der Depreſſion des Horizontes (Art. 24.) berichtigt worden iſt, die wahre Höhe des Sternes. Auf dem Lande kann man ſich eines künſtlichen Horizontes (Art. 139.) bedienen, und die Berückſichtigung der Depreſſion iſt dann unnöthig.

159) Der Reflexionskreis iſt ein Inſtrument, welches für dieſelben Zwecke, wie der Sextant, beſtimmt iſt, nur iſt er vollſtändiger, indem der Kreis ganz, und ringsum eingetheilt iſt. Er iſt gewöhnlich mit drei Verniers verſehen, ſo daß man drei beſondere Ableſungen vornehmen kann, um durch den mittleren Durchſchnitt derſelben die Fehler der Gradeintheilungen und des Ableſens zu reduciren. Der Reflexionskreis iſt ein ſehr verfeinertes und zierliches Inſtrument.

160) Wir können dieſes Capitel nicht ſchließen, ohne des Princips der Repetition Erwähnung zu thun, einer Erfindung Borda's, oder vielmehr Tobias Mayers, durch welche der Fehler der Gradeintheilung bis auf die kleinſte Größe vermindert, oder praktiſch geſprochen, vernichtet wird. P, Q (Fig. 24.) ſollen zwei Objecte ſeyn, welche wir, bloß für den Zweck der Erklärung, als feſtſtehend annehmen wollen, und K L ſey ein um O, die gemeinſchaftliche Axe der beiden Kreiſe A M L und a b c, bewegliches Fernrohr; der erſtere Kreis A M L iſt in der Ebene der Objecte abſolut feſtgeſtellt, und mit den Gradeintheilungen verſehen, während ſich der letztere um die Axe bewegt. Das Fernrohr iſt permanent an dem letztern Kreiſe befeſtigt, und bewegt ſich mit demſelben. Ein Arm O a A trägt den Index oder Vernier, mit welchem man den eingetheilten Limbus des feſten Kreiſes ablieſ't. Dieſer Arm iſt mit zwei Klemmen verſehen, durch welche er temporär mit dem einen oder mit dem andern Kreiſe verbunden, und nach Belieben wieder gelöſ't werden kann. Angenommen nun, das Fernrohr ſey nach P gerichtet, ſo befeſtigt man den Indexträger O A am in-

nern Kreiſe, löſ't ihn vom äußern, und lieſ't dieſen ab. Alsdann führt man das Fernrohr bis auf das andere Object Q. Indem man dieſes thut, wird auch der innere Kreis und der an demſelben befeſtigte Indexträger ebenfalls mit fortgeführt, um einen Bogen AB am eingetheilten Limbus des äußern Kreiſes, welcher gleich iſt dem Winkel POQ. Nun befeſtige man den Indexträger am äußern Kreiſe, löſe ihn vom innern, und leſe ab. Die Differenz der Ableſungen wird demnach den Winkel POQ meſſen; aber das Reſultat kann mit zweierlei Fehlern behaftet ſeyn, nämlich mit demjenigen der Graduirung und mit demjenigen der Beobachtung, die wir beide zu beſeitigen beabſichtigen. Zu dieſem Zweck führe man das Fernrohr zurück nach P, ohne den Indexträger vom äußern Kreiſe zu löſen; nachdem es genau auf P gerichtet iſt, befeſtige man den Indexträger an b, und löſe ihn von B, worauf das Fernrohr wieder nach Q geführt wird. Dadurch wird aber der Indexträger mit demſelben nach C durch einen zweiten Bogen BC geführt, welcher ebenfalls dem Winkel POQ gleich iſt. Jetzt wird die Ableſung vorgenommen, und die Differenz zwiſchen dieſer Ableſung und der urſprünglichen wird das Doppelte des Winkels POQ ſeyn, mit beiden Fehlern der Beobachtung, aber nur mit demſelben Fehler der Graduirung, wie vorher, behaftet. Dieſes Verfahren wiederhole man, ſo oft man will, wir wollen annehmen, zehnmal: ſo wird der endliche Bogen ABCD, der am Kreiſe abgeleſen wird, das Zehnfache des verlangten Winkels betragen, afficirt von den vereinigten Fehlern aller zehn Beobachtungen, aber nur von demſelben conſtanten Fehler der Graduirung, welcher von dem erſten und letzten Ableſen allein abhängig iſt. Nun ſtreben aber die Fehler der Beobachtungen, wenn dieſe zahlreich ſind, ſich einander auszugleichen und aufzuheben, ſo daß, wenn die Beobachtungen hinlänglich vervielfältigt worden ſind, der Einfluß der erſteren auf's Reſultat verſchwindet. Es bleibt alsdann nur der conſtante Fehler der Graduirung übrig, welcher in dem Endreſultate

durch die Zahl der Beobachtungen dividirt, und dadurch hinſichtlich ſeines Einfluſſes bis auf ein Zehntel ſeines möglichen Betrages, oder, wenn es nöthig iſt, bis auf noch weniger vermindert wird.

Die theoretiſche Schönheit und Nützlichkeit dieſes Principes ſcheint in der Praxis durch irgend eine unbekannte Urſache, die wahrſcheinlich in unvollkommener Befeſtigung des Indexträgers aufzuſuchen iſt, wieder gemindert zu werden.

Drittes Capitel.

Mathematiſche Geographie.

Von der Geſtalt der Erde. — Die wirklichen Dimenſionen derſelben. — Ihre Geſtalt nach dem Principe des Gleichgewichts in Verbindung mit der Centrifugalkraft. — Veränderlichkeit der Schwere auf ihrer Oberfläche. — Statiſche und dynamiſche Meſſungen der Schwere. — Das Pendal. — Schwere auf einem Sphäroid. — Andere Wirkungen der Umdrehung der Erde um ihre Axe. — Die Paſſatwinde. — Beſtimmung der geographiſchen Lage der Orte auf der Erde. — Breiten. — Längen. — Aufnahme eines trigcnometriſchen Netzes. — Landcharten. — Die verſchiedenen Projectionen der Erdoberfläche. — Meſſung der Höhen mit Hülfe des Barometers.

161) Die Geographie iſt nicht allein der wichtigſte unter den praktiſchen Zweigen des Wiſſens, worauf die Aſtronomie angewendet wird, ſondern ſie iſt auch, theoretiſch genommen, ein weſentlicher Theil der letztern Wiſſenſchaft. Da die Erde der allgemeine Standort iſt, von wo aus wir den Himmel erblicken, ſo iſt eine Kenntniß der örtlichen Lage beſonderer Standpunkte auf ihrer Oberfläche von großem Belang, ſobald wir die Entfernungen der nähern Himmelskörper von uns unterſuchen wollen, wenn ſie nämlich aus Beobachtungen ihrer Parallaxe, oder überhaupt aus Umſtänden gefolgert wird, bei denen eine Differenz der Oertlichkeit Einfluß auf die aſtronomiſchen Reſultate haben kann. Wir

wollen deshalb in dieſem Capitel die Grundſätze erklären, nach welchen aſtronomiſche Beobachtungen auf geographiſche Beſtimmungen angewendet werden, und zu gleicher Zeit einen Umriß der Geographie geben, in ſo weit ſie nämlich als ein Theil der Aſtronomie betrachtet wird.

162) Die Geographie iſt, wie ſchon das Wort ergiebt, eine Schilderung oder Beſchreibung der Erde. In der weiteſten Bedeutung umfaßt ſie nicht allein eine Schilderung der Geſtalt ihrer Feſtländer und Meere, ihrer Flüſſe und Berge, ſondern auch eine Skizze ihres phyſiſchen Zuſtandes, ihrer Climate, ihrer Erzeugniſſe und ihrer Aneignung durch menſchliche Vereine. Mit phyſiſcher und politiſcher Geographie haben wir jedoch hier nichts zu thun. Die Gegenſtände der aſtronomiſchen Geographie ſind: die genaue Kenntniß der Form und der Dimenſionen der Erde; die Theile ihrer Oberfläche, welche das Meer und das Land einnehmen; ſodann die Geſtaltung der Oberfläche des letztern, inwiefern es über den Ocean vorragt, und in die verſchiedenen Formen von Berg, flachem Land und Thal zerfällt; auch die Geſtalt des Meeresgrundes, als eine Fortſetzung der Oberfläche des Landes unter dem Waſſer betrachtet, darf nicht unberückſichtigt bleiben. Von letzterer wiſſen wir zwar ſehr wenig, allein dieſes iſt nur zu bedauern, und wir müſſen dieſem Uebelſtande wo möglich abhelfen, ſtatt uns dabei zu beruhigen, zumal da es viele ſehr wichtige Zweige der Forſchung giebt, die durch eine beſſere Bekanntſchaft hiermit ſehr gefördert werden würden.

163) Was die Geſtalt der Erde, als eines Ganzen, betrifft, ſo haben wir bereits gezeigt, daß man ſie im Allgemeinen als ſphäriſch betrachten könne; aber der Leſer, welcher die Bemerkungen im Art. 23. gehörig gewürdigt hat, wird darüber nicht ungewiß ſeyn, daß dieſes Reſultat, welches ſich auf Beobachtungen gründet, die keiner großen Genauigkeit fähig ſind und nur ſehr kleine Theile der Oberfläche der Erde auf einmal umfaſſen, blos als eine erſte Annäherung betrachtet werden könne, und noch weſentlich zu modi-

ficiren ſey, ſobald man manche kleine Umſtände berückſichtigt, die vorher vernachläſſigt wurden, oder ſobald man genauere Beobachtungen anſtellt, und dieſelben über größere Theile der Erdoberfläche ausdehnt. Sollte es ſich z. B. bei genauerer Unterſuchung finden (wie es wirklich der Fall iſt), daß die eigentliche Geſtalt der Erde ein wenig alliptiſch oder zuſammengedrückt iſt, etwa wie eine Orange, ſo daß derjenige Durchmeſſer, welcher mit der Erdaxe zuſammenfällt, ungefähr um $\frac{1}{300}$ kleiner iſt, als der Durchmeſſer des Aequators: ſo iſt dieſes eine ſo geringe Abweichung von der ſphäriſchen Form, daß, wenn ein Modell nach ſolchen Verhältniſſen aus Holz gedreht, und vor uns auf einen Tiſch gelegt würde, die genaueſte Beſichtigung oder Betaſtung dieſe Abplattung nicht entdecken würde, da die Differenz bei einer Kugel von 16 Zollen nur $\frac{1}{20}$ Zoll betragen könnte. Nach der gewöhnlichen Art zu ſprechen, und für alle gewöhnlichen Zwecke, würde es dann immer noch eine Kugel heiſſen, während bei ſorgfältiger Meſſung die Differenz unfehlbar erkannt, und das Modell, ſtreng genommen, nicht mehr eine Kugel, ſondern ein an den Polen zuſammengedrücktes Ellipſoid, oder Sphäroid genannt werden würde, welches der eigentliche Ausdruck iſt, mit dem die Geometer die eben beſchriebene Form zu bezeichnen pflegen.

164) Die Durchſchnittsflächen eines Körpers von ſolcher Figur haben keine Kreiſe, ſondern Ellipſen zur Begrenzung, ſo daß auf einer Erde von ſolcher Geſtalt der Horizont eines Beobachters nirgends (außer an den Polen) genau kreisförmig, ſondern etwas elliptiſch iſt. Es läßt ſich indeſſen leicht darthun, daß die Abweichung des Horizonts von der kreisförmigen Geſtalt, in Folge einer ſo geringen Ellipticität, wie ſie oben angenommen worden iſt, weder mit unſerm Auge, noch auch mit dem Depreſſionsſector bemerkt werden könne, ſo daß wir durch dieſe Art der Beobachtung eine ſo geringe Abweichung von der vollkommenen Kugelgeſtalt zu entdecken im Stande ſeyn würden. Wie wir zu dieſer

Folgerung, als einem praktiſchen Reſultate, gelangt ſind, wird ſich ergeben, wenn wir die Mittel, welche zu einer genauen Beſtimmung der Dimenſionen der ganzen Erde oder eines Theiles derſelben dienen, erklärt haben werden.

165) Da wir weder im Stande ſind, die Erde zu faſſen, noch uns weit genug von derſelben zu entfernen, um ſie mit einem Blick als ein Ganzes zu überſchauen, und ſie mit einem bekannten Maßſtabe, der mit ihrer Größe einigermaßen im Verhältniſſe ſteht, zu vergleichen, ſondern nur auf derſelben herumkriechen und unſere winzigen Maßſtäbe auf verhältnißmäßig kleine Theile ihrer ungeheuern Oberfläche ſucceſſiv anwenden können, ſo wird es nöthig, durch geometriſches Raiſonnement den Mangel unſerer phyſiſchen Mittel zu erſetzen, und von einer genauen und ſorgfältigen Meſſung ſolcher kleinen Theile auf die Geſtalt und die Dimenſionen des ganzen Körpers zu ſchließen. Dieſes bietet geringe Schwierigkeiten dar, ſobald wir die Ueberzeugung haben, daß die Erde eine vollkommene Kugel iſt; denn da das Verhältniß des Kreisumfanges zum Durchmeſſer bekannt iſt (nämlich wie 3,1415926 zu 1,0000000), ſo brauchen wir nur die Länge des ganzen Umfanges eines größten Kreiſes, z. B. eines Meridians, in Meilen, Fußen, oder anderen Maßeinheiten, auszumitteln, um auch den Durchmeſſer in Einheiten derſelben Art kennen zu lernen. Nun läßt ſich aber der Umfang des ganzen Kreiſes finden, ſobald wir die Länge eines aliquoten Theiles deſſelben, z. B. 1° oder $\frac{1}{360}$ des Umfangs genau kennen; und da ein ſolcher Theil, wie dieſer, nicht mehr, als ungefähr 70 engliſche Meilen Länge hat, ſo liegt er nicht außerhalb der Grenzen einer ſehr genauen Meſſung, und er könnte in der That, bis auf ſehr wenige Fuße oder ſogar Zolle, ſobald uns der Anfang und das Ende eines ſolchen Theiles genau bekannt wären, mittelſt der Methoden gemeſſen werden, die ſogleich näher angegeben werden ſollen.

166) Angenommen nun, wir unternehmen eine Meſſung mit aller erforderlichen Sorgfalt von einem Stand-

punkte aus, genau in der Richtung eines Meridianes, und ſetzen die Meſſung fort, bis wir aus irgend einer Indication abnehmen, daß wir genau einen Grad vom Anfangspunkte der Meſſung an vollendet haben, ſo würde unſere Aufgabe alsdann mit einemmale gelöſet ſeyn. Es bleibt deshalb nur noch zu unterſuchen übrig, durch welche Indicationen wir die Ueberzeugung erlangen können 1) daß wir genau einen Grad zurückgelegt, und 2) daß wir genau in der Richtung eines größten Kreiſes gemeſſen haben.

167) Nun giebt es aber auf der Erde weder Grenzſteine, welche die Grade bezeichnen, noch Spuren, welche auf der Oberfläche derſelben eingedrückt ſind, um uns bei einer ſolchen Meſſung zu leiten. Der Compaß iſt zwar für den Seefahrer oder den Reiſenden ein ziemlich guter Wegweiſer, aber viel zu unſicher in ſeinen Anzeigen, und zu wenig hinſichtlich ſeiner Geſetze bekannt, als daß er bei einer ſolchen Operation von einigem Nutzen ſeyn könnte. Wir müſſen deshalb nach außen blicken, und unſeren Standpunkt auf der Oberfläche unſerer Erdkugel auf natürliche, außerhalb der Erde gelegene, Marken beziehen, die von gleicher Fortdauer und Beſtändigkeit, wie die Erde ſelbſt, ſind. Solche Marken bieten nun die Sterne dar. Aus den Beobachtungen ihrer Meridianhöhen, von irgend einem terreſtriſchen Standpunkte aus, und aus ihren bekannten Polarabſtänden ſchließen wir auf die Höhe des Poles; und da die Polhöhe der Breite des Ortes gleich iſt (Art. 95.), ſo geben dieſelben Beobachtungen die Breite jedes Standortes an, an welchem wir die erforderlichen Inſtrumente aufſtellen. Ergiebt ſich nun, daß unſere Breite um 1 Grad abgenommen hat, ſo wiſſen wir auch, ſobald wir im Meridiane geblieben ſind, daß wir $\frac{1}{360}$ des Erdumfanges beſchrieben haben.

168) Die Richtung des Meridianes kann in jedem Augenblicke durch die Beobachtungen geſichert werden, welche im Art. 137. beſchrieben worden ſind; und wenn auch örtliche Schwierigkeiten uns nöthigen können, bei unſerer Meſſung von dieſer genauen Richtung abzuwei-

chen, ſo ſind wir doch im Stande, wenn wir den Betrag dieſer Abweichung genau in Anſchlag bringen, durch eine ſehr einfache Rechnung unſer beobachtetes Maß auf ſeinen Meridionalwerth zu reduziren.

169) Dieſes iſt das Princip der wichtigſten geographiſchen Operation, nämlich der Meſſung eines Meridianbogens. Bei der Ausführung derſelben im Einzelnen muß indeſſen ein etwas modificirtes Verfahren angewendet werden. Eine Sternwarte läßt ſich nicht mit jedem Schritte errichten und wieder wegnehmen, ſo daß wir uns überzeugen können, ob wir genau 1 Grad und nicht mehr und nicht weniger gemeſſen haben. Aber dieſes iſt von keinem Belang, ſobald wir nur mit gleicher Beſtimmtheit wiſſen, wie viel wir mehr, oder weniger, gemeſſen haben. Statt alſo dieſen beſtimmten aliquoten Theil zu meſſen, wenden wir das zweckmäßigere Verfahren an, von einem guten Beobachtungs-Standorte nach einem andern hin etwa 1 Grad, oder 2 oder 3 Grade, wie es die Umſtände eben mit ſich bringen, eigends zu meſſen, und durch aſtronomiſche Beobachtungen die Differenz der Breiten dieſer Standorte genau zu beſtimmen.

170) Es iſt indeſſen von großem Belange, bei dieſer Unternehmung jede Quelle der Unſicherheit zu vermeiden, weil ein Fehler, den man in der Länge eines einzigen Grades begeht, 360mal im Umfange und ungefähr 115mal in dem daraus abgeleiteten Durchmeſſer der Erde vergrößert wird. Ein Fehler in der aſtronomiſchen Beſtimmung der Meridianhöhe eines Sternes iſt von beſonderem Einfluße. Nun herrſcht aber immer noch zu viel Unſicherheit und Schwanken über den Betrag der Strahlenbrechung in mäßigen Höhen, um es nicht ganz beſonders wünſchenswerth zu machen, dieſe Quelle des Fehlers ſorgfältig zu vermeiden. Für dieſen Zweck pflegt man an den beiden äußerſten Standorten einen Stern zur Beobachtung zu wählen, welcher durch das Zenith, oder nahe an demſelben vorbeigeht. Der Betrag der Strahlenbrechung iſt bis auf einige Grade vom Zenith ſehr klein, und das Schwanken derſelben, ſo wie die Unſicherheit hinſichtlich ihrer abſo-

luten Quantität, ſo außerordentlich geringfügig, daß dieſes gar nicht in Anſchlag zu bringen iſt. Nun iſt es ganz einerlei, ob wir beobachten, daß die Polhöhe ſich um 1 Grad vergrößert oder vermindert habe, oder ob der Zenithabſtand eines Sternes im Meridian ſich um dieſelbe Quantität vermindert habe. Wenn wir alſo an dem einen Standorte beobachten, daß ein Stern durch das Zenith geht, und an dem andern, daß er einen Grad ſüdlich oder nördlich vom Zenith den Meridian paſſirt, ſo haben wir die Ueberzeugung, daß die geographiſchen Breiten oder Polhöhen der beiden Standorte um denſelben Betrag differiren.

171) Angenommen, daß die Endpunkte eines Grades beſtimmt werden können, ſo läßt ſich ſeine Länge mittelſt der Methoden, die jetzt beſchrieben werden ſollen, bis auf ſehr wenige Fuße meſſen, wie wir bereits bemerkt haben. Nun kann der Fehler, der in der Beſtimmung eines jeden dieſer Endpunkte begangen wird, denjenigen nicht überſteigen, welcher in der Beobachtung des Zenithabſtandes eines für dieſen Zweck günſtig gelegenen Sternes begangen werden kann. Bei gehöriger Sorgfalt kann dieſer Fehler kaum mehr, als eine einzige Sekunde betragen. Wenn wir die Möglichkeit eines Fehlers von zehn Fußen in der gemeſſenen Länge eines Grades, und von 1 Sekunde bei jedem der Zenithabſtände eines Sternes zugeben, der von einem nördlichen und von einem ſüdlichen Standpunkte aus beobachtet worden iſt, und wenn wir endlich annehmen, daß alle dieſe Fehler in einem und demſelben Sinne dazu beitragen, ein Reſultat zu geben, welches entweder größer oder kleiner iſt, als das eigentlich wahre: ſo ergiebt ſich aus einer ſehr einfachen Proportion, daß die Unſicherheit, welche durch eine Vereinigung aller dieſer Fehler bei der Beſtimmung des aus einer ſolchen Meſſung gefolgerten Erddurchmeſſers zurückbleibt, nicht über 544 engliſche Ellen beträgt, was etwa den dritten Theil einer engliſchen Meile ausmacht; dieſes würde aber ſchon ein ſehr großes Zugeſtändniß ſeyn.

172) Dabei iſt indeſſen vorausgeſetzt, daß die Geſtalt der Erde diejenige einer vollkommenen Kugel ſey,

und daß folglich die Längen ihrer Grade überall einander genau gleich ſind. Wenn wir aber die an verſchiedenen Theilen der Erdkugel vorgenommenen Meſſungen von Meridianbögen mit einander vergleichen, ſo bieten die erhaltenen Reſultate, obſchon ſie hinlänglich übereinſtimmen, um darzuthun, daß die Annahme einer Kugelgeſtalt der Erde von der Wahrheit nicht *ſehr* entfernt ſey, dennoch Differenzen dar, welche weit größer ſind, als daß man ſie den Beobachtungsfehlern beimeſſen könnte, und durch welche es ganz augenſcheinlich wird, daß jene Hypotheſe im ſtrengen Sinne unhaltbar ſey. Die folgende Tabelle giebt die Längen eines Meridiangrades (aſtronomiſch beſtimmt, wie oben beſchrieben, in Britiſchen Normalfußen ausgedrückt, wie ſie die wirkliche, mit aller möglichen Sorgfalt und Genauigkeit von den Abgeordneten verſchiedener Länder (d. h. von ausgezeichneten Männern, die von ihren Regierungen mit den beſten Inſtrumenten ausgeſtattet waren und auf alle mögliche Weiſe unterſtützt wurden, um ihren wichtigen Arbeiten einen glücklichen Erfolg zu ſichern) angeſtellte Meſſung ergeben hat. *)

Land.	Breite der Mitte des Bogens.	Gemeſſener Bogen.	Gefolg. Länge des Grades	Beobachter.
Schweden	66°20′10″	1°37′19″	365782	Svanberg.
Rußland	58 17 37	3 35 5	365368	Struve.
England	52 35 45	3 57 13	364971	Roy, Kater.
Frankreich	46 52 2	8 20 0	364872	Lacaille, Caſſini.
Frankreich	44 51 2	12 22 13	364535	Delambre, Mechain
Rom	42 59 0	2 9 47	364262	Boscovich.
Amerika, V. St.	39 12 0	1 28 45	363786	Maſon, Dixon.
Vrgbg. d. g. Hofn	33 18 30	1 13 17½	364713	Lacaille.
Indien	16 8 22	15 57 40	363044	Lambton, Evereſt.
Indien	12 32 21	1 34 56	363013	Lambton.
Peru	1 31 0	3 7 3	362808	Condamine ꝛc.

*) Die erſten drei Columnen dieſer Tabelle ſind aus der trefflichen Abhandlung des Prof. Airy „über die Geſtalt der Erde“ in der Encyclopädia Metrepolitana genommen.

Schon aus einem Ueberblick der zweiten und vierten Columne dieſer Tabelle ergiebt ſich, daß die gemeſſene Länge eines Grades mit der Breite zunimmt, indem ſie in der Nähe der Pole am größten und in der Nähe des Aequators am kleinſten iſt. Nunmehr wollen wir ſehen, welche Auslegung ſich von dieſer Folgerung für die Geſtalt der Erde machen läßt.

173) Angenommen, wir hätten in unſeren Händen ein ſauber aus Holz gedrehtes Modell der Erde, ſo würde es, wie bereits bemerkt worden, der Kugelgeſtalt ſo nahe kommen, daß wir weder mit dem Auge, noch durch das Gefühl, ohne Hülfe von Inſtrumenten, im Stande wären, eine Abweichung von der Kugelgeſtalt zu entdecken. Ferner angenommen, es ſey uns verſagt, in verſchiedenen Richtungen die Peripherie des Modelles direct mit einem Inſtrumente zu meſſen, wodurch wir ſogleich erfahren könnten, ob ein Durchmeſſer länger als der andere ſey, ſo entſteht die Frage, wie läßt ſich denn nun auf andre Weiſe ausmitteln, ob das Modell eine wahre Kugel ſey, oder nicht? Es liegt auf der Hand, daß uns nichts weiter übrig bleibt, als daß wir uns bemühen, durch ein ſchärferes Mittel, als der bloße Anblick oder das Gefühl darbieten, zu erforſchen, ob die Convexität der Oberfläche an allen Stellen ſich gleich ſey, und wenn dieſes nicht der Fall iſt, wo ſie am größten und wo ſie am kleinſten ſey. Angenommen nun, wir ſchnitten eine dünne Metallplatte an ihrer Kante dergeſtalt concav aus, daß ſie bei A (Fig. 25.) genau an die Oberfläche paßt. Alsdann werde dieſe Metallplatte von A entfernt, und ſucceſſiv an mehrere andere Theile der Oberfläche gelegt, wobei man Sorge trage, daß ihre Fläche immer in einem größten Kreiſe der Kugel ſich fortbewege, wie hier dargeſtellt iſt. Treffen wir nun auf eine Stelle B, an welcher das Licht zwiſchen der Kugel und der Platte Durchgang findet, oder auf eine andere C, wo die Platte, wenn wir ſie andrücken, ſich auf die eine oder die andere Seite bewegt, oder wo ſie dem Lichte unter ihren Rändern Durchgang gewährt, ſo ſind wir ſicher, daß die Krümmung der Oberfläche bei B geringer und bei C großer iſt, als bei A.

174) Was wir hier thun, indem wir eine Metallplatte von beſtimmter Länge und Krümmung anlegen, thun wir auf der Erde, wenn wir einen Breitengrad unter verſchiedenen Polhöhen meſſen. Die Krümmung einer Oberfläche iſt nichts anders, als die beſtändige Abweichung ihrer Tangente von einer beſtimmten Richtung, während wir längs derſelben fortſchreiten. Wenn wir finden, daß die Tangente (welche unſerem Horizonte entſpricht), bei derſelben gemeſſenen Größe des Fortſchrittes, ihre Lage in Bezug auf eine beſtimmte Richtung im Raume, wie z. B. die Weltaxe, oder eine Linie, welche durch den Mittelpunkt der Erde und irgend einen gegebenen Stern geht, in einem Theile des Erdmeridianes mehr verändert hat, als in einem andern, ſo folgern wir daraus nothwendig, daß die Krümmung der Oberfläche an erſterem Orte größer ſey, als an letzterem; und umgekehrt, wenn wir, um dieſelbe Veränderung des Horizontes in Bezug auf den Pol (z. B. eine Veränderung von 1°) hervorzubringen, an einer Stelle über einen längern gemeſſenen Raum wandern müſſen, als an einer andern Stelle, ſo ſchreiben wir jener eine geringere Krümmung zu. Daraus folgern wir, daß die Krümmung eines Meridiandurchſchnittes der Erde am Aequator merklich größer iſt, als an den Polen, oder mit andern Worten, daß die Erde nicht ſphäriſch, ſondern an den Polen abgeplattet, oder was auf eins hinauskömmt, am Aequator erhaben iſt.

175) NABDEF (Fig. 26.) ſey ein Meridiandurchſchnitt der Erde, C der Mittelpunkt derſelben, und NA, BD, GE Bögen eines Meridians, von denen jeder einem Grade Breitendifferenz entſpricht, oder einem Grade Verſchiedenheit in der Meridianhöhe eines Sterns, auf den Horizont eines Beobachters bezogen, der längs dem Meridiane fortſchreitet. Ferner ſollen nN, aA, bB, dD, gG, eE die reſpectiven Richtungen des Bleilothes an den Standpunkten N, A, B, D, G, E ſeyn, und wir wollen annehmen, daß N am Pole und E am Aequator liege; alsdann werden die Tangenten der Oberfläche an dieſen Punkten beziehungsweiſe auf jenen

Richtungen perpendikulär ſtehen, und es werden folglich, wenn jedes Paar, nämlich nN und aA, bB und dD, gG und eE verlängert wird, bis ſie einander ſchneiden (in den Punkten x, y, z), die Winkel NxA, ByD, GzE jeder 1^{0} meſſen, und deshalb einander gleich ſeyn, ſo daß die kleinen krummlinigen Bögen NA, BD, GE als Kreisbögen von 1^{0} betrachtet werden können, welche um x, y, z als Mittelpunkte beſchrieben ſind. Dieſe Punkte pflegt man in der Geometrie Mittelpunkte der Krümmung zu nennen, und die Halbmeſſer xN oder xA, yB oder yD, zG oder zE, ſind die Halbmeſſer der Krümmung, durch welche die Krümmungen an dieſen Punkten beſtimmt und gemeſſen werden. Da nun die Bögen verſchiedener Kreiſe, welche gleiche Winkel an ihren reſpectiven Mittelpunkten einſchließen, im directen Verhältniſſe ihrer Halbmeſſer ſtehen, und da der Bogen NA größer iſt, als der Bogen BD, und dieſer wiederum größer, als der Bogen GE, ſo folgt daraus, daß der Halbmeſſer Nx größer ſeyn müſſe, als By, und By größer als Fz. Hieraus erhellet nun, daß die wechſelſeitigen Durchſchnittspunkte der Bleilothe nicht, wie es bei der Kugel der Fall iſt, ſämmtlich in einem Punkte C, nämlich dem Mittelpunkte, zuſammenfallen, ſondern längs einer gewiſſen Curve xyz zu liegen kommen, (die noch augenfälliger wird, wenn man eine Menge zwiſchenliegender Standorte annimmt). Dieſe Curve haben die Geometer die Evolute der Curve NABDGE genannt, aus deren Krümmungsmittelpunkten ſie conſtruirt iſt.

176) An der Abplattung einer runden Figur an zwei gegenüberliegenden Stellen und an ihrer Erhabenheit an zwei eben ſolchen Stellen, die von erſteren um einen rechten Winkel abſtehen, erkennen wir das unterſcheidende Merkmal der elliptiſchen Form. Die nächſte und einfachſte Annahme, die wir in Betreff der Beſchaffenheit des Meridianes aufſtellen können, da derſelbe erwieſenermaßen kein Kreis iſt, beſteht demnach darin, daß er eine Ellipſe ſey, oder derſelben ſehr nahe komme; daß NS, oder die Erdaxe, die kleine, und EF, oder der Durchmeſſer des Aequators, die große Axe

derſelben ſey; und daß die Geſtalt der Erdoberfläche derjenigen gleich komme, die man erhält, wenn man eine ſolche Curve ſich um ihre kleine Axe NS herumdrehen läßt. Dieſes ſtimmt auch ganz gut mit dem allgemeinen Betrage der Zunahme des Grades überein, wenn man vom Aequator gegen den Pol hin fortſchreitet. In der Ellipſe iſt der Krümmungshalbmeſſer bei E, dem Endpunkte der großen Axe, am kleinſten, und am Endpunete N der kleinen Axe am allergrößten, und die Form ihrer Evolute ſtimmt mit der in Fig. 26. dargeſtellten vollkommen überein. *)

Angenommen alſo, daß der Meridian eine Ellipſe ſey, ſo ſetzen uns die geometriſchen Eigenſchaften dieſer Curve in den Stand, das Verhältniß zwiſchen den Längen ihrer Axen, welches einem gegebenen Betrage der Verſchiedenheit ihrer Krümmung entſprechen muß, anzugeben, wie auch die abſoluten Längen derſelben zu beſtimmen, die einer gegebenen Länge des Grades unter einer gegebenen Breite entſprechen. Ohne den Leſer mit dieſer Unterſuchung zu beläſtigen (die man in jedem Werke über die Kegelſchnitte finden kann) mag es genügen, hier anzuführen, daß diejenigen Längen, welche im Ganzen am beßten mit der geſammten Reihe der Meridianbögen, die auf eine befriedigende Weiſe gemeſſen wurden, übereinſtimmen, folgende ſind **): —

Größerer oder Aequatorialdurchmeſſer
= 41,847,426 Fuß = 7925,648 engl. Meilen
Kleinerer oder Polar-Durchmeſſer
= 41,707,620 Fuß = 7899,170 engl. Meilen
Differenz der Durchmeſſer, oder Compreſſion an den Polen
= 139,806 Fuß = 26,478 engl. Meilen.

Das Verhältniß der Durchmeſſer iſt ſehr nahe wie 298 zu 299, und ihre Differenz beträgt folglich $\frac{1}{299}$ des größern Durchmeſſers, oder etwas mehr als $\frac{1}{300}$.

---

*) Die punktirten Linien bezeichnen die Theile der Evolute, welche den andern Quadranten zugehören.

**) Siehe Prof. Airy's bereits citirte Abhandlung.

177) Daraus ſehen wir nun, daß der beiläufige Durchmeſſer von 800 Meilen, deſſen wir uns bisher bedient haben, etwas zu groß iſt, nämlich um etwa 100 Meilen oder den 80ſten Theil.

Wir halten es für äußerſt unwahrſcheinlich, daß ein Fehler bis auf den Betrag von 5 Meilen in den angeführten Durchmeſſern oder eine Unſicherheit von $1/_{10}$ der ganzen Quantität der angegebenen Compreſſion ſtattfinden könne. Als bequeme Zahlen für die Erinnerung mag ſich der Leſer einprägen, daß in unſerer Breite (in England) gerade ſo viele tauſend Fuße auf einen Grad des Meridianes gehen, als Tage im Jahr ſind (365); daß ein Grad beiläufig 70 Britiſche ſtatutenmäßige Meilen und 1 Sekunde etwa 100 Fuß hat; und daß der Umfang des Aequators der Erde etwas weniger, als 25000 engliſche Meilen (24899) beträgt.*)

---

*) Da der dentſche Leſer mit den engliſchen Maßeinheiten im Allgemeinen weniger bekannt iſt, als mit dem, gegenwärtig immer mehr auch in Deutſchland eingeführten franzöſ. Maßſyſteme, ſo wird eine Angabe der Dimenſionen der Erde, in Toiſen ausgedrückt, deren jede 6 Pariſer Fuß, oder 72 Pariſer Zolle, oder 864 Pariſer Linien enthält, hier nicht unwillkommen ſeyn. Will man ſtatt des Pariſer Fußmaßes den Mètre einführen, ſo iſt zu bemerken, daß die geſetzliche Länge des Mètre 443 $\frac{296}{1000}$ Pariſer Linien beträgt. — Die folgenden Angaben beruhen auf der neueſten, von dem unlängſt verſtorbenen Dr. Eduard Schmidt in Göttingen auf das Genaueſte ausgeführten Berechnung aller bekannt gewordenen zuverläſſigen Gradmeſſungen, unter denen ſich auch die Hannoverſche befindet, welche in der im Art. 172. gegebenen Tabelle nicht mit aufgeführt iſt (ſiehe Schumachers aſtronomiſche Nachrichten, Bd. IX. S. 371.):

Durchmeſſer des Erdäquators = 6543546 Toiſen

Länge der Erdaxe = 6521880 —

Abplattung der Erde = $\frac{1}{302}$

Hieraus folgt ferner die Länge des mittlern Breitengrades, oder des 360ſten Theils des Umfangs eines Erd-

178) Den durch die Axe gehenden Durchſchnitt der Erde von elliptiſcher Geſtalt anzunehmen, empfiehlt ſich der Einfachheit wegen, und dieſe Annahme wird beſtätigt, wenn man die eben aufgeſtellten numeriſchen Reſultate mit denen der wirklichen Meſſung vergleicht. Wird dieſe Vergleichung angeſtellt, ſo bemerkt man allerdings Differenzen, welche, obſchon noch immer zu groß, als daß man ſie gänzlich den Fehlern der Meſſung zuſchreiben könnte, dennoch ſo klein ſind im Vergleiche zu den Fehlern, die ſich aus der ſphäriſchen Hypotheſe ergeben, daß wir vollkommen berechtigt ſind, die Erde als ein Ellipſoid zu betrachten, und die beobachteten Abweichungen entweder örtlichen, oder, wenn überhaupt allgemeinen, doch verhältnißmäßig geringfügigen Urſachen zuzuſchreiben.

179) Nun gewährt es die höchſte Befriedigung, wenn wir finden, daß die allgemeine elliptiſche Geſtalt, deren Exiſtenz auf dieſe Weiſe praktiſch dargethan iſt, genau diejenige iſt, welche ſich, der Theorie nach, aus der Umdrehung der Erde um ihre Axe ergeben muß. Denn wir wollen annehmen, die Erde ſey eine Kugel im Zuſtande der Ruhe, durchgängig aus

---

meridians, — 57008,715 Toiſen = 342052 Pariſer Fuß, und die Länge einer Breitenſecunde = 95 Pariſer Fuß. — Aus dem Durchmeſſer des Erdäquators ergiebt ſich der ganze Umfang deſſelben = 20557156 Toiſen; und da eine geographiſche oder deutſche Meile ſo angenommen wird, daß 15 derſelben auf einen Grad des Aequators gehen, mithin der ganze Umfang deſſelben 15 × 360 = 5400 ſolcher Meilen beträgt, ſo folgt, daß jede geographiſche oder deutſche Meile 3806,88 Toiſen oder 22841 Pariſer Fuß lang iſt. Will man die vorhin angeführten Längen des Durchmeſſers des Aequators und der Erdaxe ebenfalls in geographiſchen Meilen ausdrücken, ſo erhält man, mit Weglaſſung der Brüche für die erſtere 1719, und für die letztere 1713 geographiſche Meilen. — Zur Vergleichung dieſer Angaben mit den engliſchen dienen nachſtehende Verhältniſſe:

1 engliſche Meile = 5280 engliſche Fuß
1 engl. Elle (yard) = 3 engliſche Fuß
1 engliſcher Fuß = 135,11418 Pariſer Linien.

N.

gleichförmigen Stoffen zuſammengeſetzt, und äußerlich an jedem Theile mit einem Oceane von gleicher Tiefe bedeckt. Unter ſolchen Umſtänden würde ſie ſich offenbar in einem Zuſtande des Gleichgewichtes befinden; und das Waſſer auf ihrer Oberfläche würde nicht im Geringſten nach der einen oder nach der andern Richtung hinzufließen ſtreben. Angenommen nun, eine Quantität des Stoffes der Erde würde aus den Polargegenden weggenommen und um den Aequator herum aufgehäuft, ſo daß jene Differenz zwiſchen dem Polardurchmeſſer und dem Durchmeſſer des Aequators entſtände, von der wir wiſſen, daß ſie 26 engliſche Meilen beträgt: ſo leuchtet es eben ſo klar ein, daß auf dieſe Weiſe nur allein ein Gebirgsrücken oder ein Continent unter dem Aequator entſtehen könnte, von welchem das Waſſer nach dem ausgehöhlten Theile an den Polen hinabfließen würde. Und wenn auch der feſte Stoff an ſeiner urſprünglichen Stelle bliebe, ſo würde doch wenigſtens der flüſſige Theil eben ſo wenig daſelbſt verbleiben, als wie an einer Bergwand, gegen welche man ihn geworfen hätte. Die Folge würde deshalb die Entſtehung zweier großer Polarmeere ſeyn, ringsum vom Lande des Aequators eingeſchloſſen. Dieſes iſt aber in der Natur keinesweges der Fall. Der Ocean verbreitet ſich ohne Unterſchied durch alle Breitengrade, ohne für die Polargegenden eine größere Vorliebe, als für die Gegenden unter dem Aequator kund zu geben. Da wir alſo ſehen, daß das Waſſer am Aequator um 13 engliſche Meilen höher über dem Mittelpunkte ſteht, als an den Polen, und daſſelbe dennoch kein Streben verräth, den Aequator zu verlaſſen und nach den Polen zu fließen, ſo geht daraus offenbar hervor, daß es in dieſer Lage durch irgend eine angemeſſene Kraft zurückgehalten werden müſſe. In dem von uns angenommenen Falle iſt indeſſen eine ſolche Kraft gar nicht vorhanden, und er iſt deshalb der Natur nicht gemäß. Die ſphäriſche Geſtalt iſt, mit andern Worten, nicht die Geſtalt des Gleichgewichtes; und eben deshalb befindet ſich entweder die Erde nicht im Zuſtande der Ruhe, oder ſie iſt

innerlich ſo beſchaffen, daß ſie das Waſſer in den Gegenden des Aequators anzieht, und es daſelbſt zurückhält. Für die letztere Annahme iſt auf den erſten Blick keine Wahrſcheinlichkeit vorhanden, auch keine Analogie, die uns auf eine ſolche Idee bringen könnte. Die erſtere dagegen ſteht im Einklange mit allen Erſcheinungen der ſcheinbaren täglichen Bewegung des Himmels; und wenn ſie uns deshalb die fragliche Kraft darbietet, ſo können wir nicht im Geringſten anſtehen, ſie als wahr anzunehmen.

180) Nun weiß Jedermann, daß, wenn ein Gewicht raſch im Kreiſe umgeſchwungen wird, daſſelbe dadurch ein Streben erhält, ſich vom Mittelpunkte ſeiner Bewegung zu entfernen. Dieſes nennt man die Centrifugalkraft. Ein Stein, welcher in einer Schleuder raſch umgeſchwungen wird, dient gewöhnlich zur Erläuterung; eine beſſere aber für unſern gegenwärtigen Zweck finden wir in einem mit Waſſer gefüllten Eimer, der an einem Strick hängt, und ſich im Kreiſe herumſchwingt (Fig. 27.), während der Strick perpendikulär hängt. Die Oberfläche des Waſſers wird nicht horizontal bleiben, ſondern concav werden, wie in der Figur angegeben iſt. Die Centrifugalkraft erzeugt in dem ſämmtlichen Waſſer ein Streben, die Umdrehungsaxe zu verlaſſen, und ſich gegen den Umfang hin zu drängen; es wird deshalb gegen den Eimer hingedrückt, und an den Seiten deſſelben emporgetrieben, bis das Uebermaß der Höhe, und die daraus folgende Zunahme des Druckes nach unten, ſeine Centrifugalkraft gerade balancirt, und dadurch ein Zuſtand des Gleichgewichtes herbeigeführt wird. Der Verſuch iſt ſehr leicht und belehrend, dabei auch ganz vorzüglich geeignet, darzuthun, wie die Geſtalt des Gleichgewichtes ſich den abwechſelnden Umſtänden accomodirt. Wenn wir z. B. die Umdrehung nach und nach aufhören laſſen, ſo werden wir ſehen, daß die Concavität des Waſſers regelmäßig abnimmt, ſo wie die Umdrehung langſamer wird; die erhabene äußere Portion wird herabtreten, und die deprimirte mittlere ſteigen, wobei das Waſſer beſtändig eine ganz glatte

Oberfläche behält, bis endlich die Umdrehung ganz erſchöpft iſt, wo es alsdann ſeinen horizontalen Stand wieder einnimmt.

181) Nehmen wir nun an, eine Kugel von der Größe der Erde, im Zuſtande der Ruhe, und gleichförmig mit einem Oceane bedeckt, würde um eine gewiſſe Axe in Umdrehung verſetzt, anfangs ſehr langſam, aber nach und nach geſchwinder, bis ſie innerhalb 24 Stunden eine Umdrehung vollendete: ſo würde dadurch eine Centrifugalkraft erzeugt werden, deren allgemeines Streben darin beſtehen würde, das Waſſer an jedem Punkte der Oberfläche zu nöthigen, ſich von der Axe zu entfernen. Man könnte ſich ſogar eine Umdrehung denken von einer ſolchen Geſchwindigkeit, daß der ganze Ocean, wie Waſſer von einem Fegelappen, von der Oberfläche weggeſchleudert würde; aber dazu würde eine weit größere Geſchwindigkeit erforderlich ſeyn, als diejenige, von welcher wir gegenwärtig ſprechen. In dem angenommenen Falle würde das Waſſer, vermöge ſeiner Schwere, immer auf der Erde zurückgehalten werden, und das Streben, ſich von der Axe zu entfernen, könnte deshalb nur dadurch befriedigt werden, daß das Waſſer die Pole verläßt und ſich nach dem Aequator hinbegiebt, ſich daſelbſt gleichſam zu einem Gebirge anhäuft, gerade ſo, wie ſich das Waſſer in unſerm Eimer an den Seiten deſſelben anhäuft, und durch den auf dieſe Weiſe verurſachten Druck, ungeachtet ſeines Gewichtes, oder ſeines natürlichen Strebens nach dem Mittelpunkte hin, daſelbſt zurückgehalten wird. Dieſes könnte indeſſen nicht geſchehen, ohne die Polartheile des Landes in der Geſtalt unermeßlich vorragender Feſtländer trocken zu legen; und der Unterſchied zwiſchen unſeren angenommenen Fällen iſt deshalb dieſer: — im erſtern Falle würden ein großes Feſtland unter dem Aequator, und Meere an den Polen erzeugt werden; im letztern würde das Land an den Polen eine Vorragung bilden, und um den Aequator herum eine Meereszone entſtehen. Dieſes würde die erſte oder unmittelbare Folge ſeyn. Jetzt wollen wir ſehen, was in den beiden Fällen ſich

nachher ereignen würde, wenn ſich die Dinge ihrem natürlichen Laufe überließen.

182) Das Meer ſchlägt beſtändig gegen das Land, führt Theilchen davon weg, und verbreitet dieſelben als Schlamm und Geröll über ſein Bette. Geologiſche Thatſachen liefern ausreichenden Beweis, daß alle vorhandenen Feſtländer dieſem Prozeſſe, ſogar mehr als einmal, unterlegen haben, ganz in Stücke zerriſſen, oder in Staub verwandelt, untergetaucht und von Neuem aus den Fluthen hervorgetreten ſind. Von dieſem Geſichtspunkt aus betrachtet, verliert das Land ſeine Eigenſchaft der Feſtigkeit. Als eine Maſſe kann es zwar, den Kräften gegenüber, denen das Waſſer freiwillig Gehorſam leiſtet, zuſammenhalten, aber in ſeinem Zuſtande allmähliger oder gleichzeitiger Verkleinerung muß es, als Sand oder Schlamm in den Gewäſſern vertheilt, allen Impulſen dieſer Flüſſigkeit folgen. Im Laufe der Zeit würde alſo das vorragende Land in beiden Fällen zerſtört und über den Meeresgrund verbreitet werden, deſſen tiefere Stellen es ausfüllt, indem es beſtändig dahin ſtrebt, die Oberfläche des feſten Kernes, der Form des Gleichgewichtes in beiden Fällen entſprechend, von Neuem wieder herzuſtellen. So würde denn, nach Verlauf einer hinlänglichen Zeit, in dem Falle einer Erde im Zuſtande der Ruhe, das Feſtland unter dem Aequator, welches auf die bezeichnete Weiſe gewaltſam gebildet wurde, wiederum weggeſpült und in die Vertiefungen an den Polen zurück verſetzt, und dadurch die ſphäriſche Geſtalt endlich wieder hergeſtellt werden. In dem Falle einer ſich umdrehenden Erde würden die Vorragungen an den Polen allmählich weggenommen werden und verſchwinden, indem ſie an den Aequator verſetzt werden (wo dann das Meer am tiefſten iſt), bis die Erde nach und nach die Geſtalt angenommen hat, die wir jetzt an ihr bemerken, nämlich diejenige eines abgeplatteten oder an den Polen zuſammengedrückten Ellipſoids.

183) Wir ſind weit davon entfernt, uns einzubilden, hiermit das Verfahren bezeichnet zu haben, durch-

welches die Erde ihre jetzige Geſtalt wirklich angenommen hat, ſondern es iſt blos unſere Abſicht, zu zeigen, daß dieſes die Geſtalt ſey, nach welcher ſie, unter der Bedingung einer Umdrehung um ihre Axe, ſtreben muß, und welche ſie erlangen würde, ſelbſt wenn ſie urſprünglich und (um uns ſo auszudrücken) auf eine verkehrte Weiſe anders eingerichtet geweſen wäre.

184) Sind aber einmal die Dimenſionen der Erde und die Zeit ihrer Umdrehung bekannt, ſo läßt ſich daraus leicht die genaue Größe der Centrifugalkraft berechnen, welche unter dem Aequator $= \frac{1}{289}$ derjenigen Kraft iſt, mit der alle Körper, ſowohl feſte als flüſſige, nach der Erde hin zu fallen ſtreben. Um dieſen Bruchtheil ſeiner Schwere iſt alſo das Meer unter dem Aequator leichter, und kann folglich hier einen höhern Stand, oder eine größere Entfernung vom Mittelpunkte behaupten, als an den Polen, wo keine ſolche gegenwirkende Kraft beſteht, und wo man folglich das Waſſer als ſpecifiſch ſchwerer betrachten darf. Indem die Mathematiker von dieſem Grundſatze ausgiengen, und ihn mit den Geſetzen der Schwere (wie ſie Newton entwickelt hat, und worüber weiter unten ausführlichere Erläuterungen vorkommen werden) in Verbindung brachten, ſind ſie im Stande geweſen, a priori zu erforſchen, welches die Geſtalt des Gleichgewichts eines Körpers ſeyn müſſe, der eine ſolche innere Beſchaffenheit hat, wie wir ſie der Erde zuzuſchreiben Grund haben, der ganz oder zum Theil mit einer Flüſſigkeit bedeckt iſt, der ſich endlich gleichförmig innerhalb 24 Stunden umdreht; und es hat ſich ergeben, daß das Reſultat dieſer Forſchung auf eine ſehr genügende Weiſe mit dem übereinſtimmt, was uns die Beobachtung an die Hand giebt. Aus dieſen Forſchungen geht hervor, daß die Geſtalt des Gleichgewichtes der Erde in der That keine andere ſey, als diejenige eines abgeplatteten Ellipſoids, und zwar von einem ſolchen Grade von Ellipticität, der beinahe vollkommen identiſch mit demjenigen iſt, welchen wir beobachtet

haben, und der ſich ohne Zweifel ganz genau eben ſo ergeben würde, wenn wir die innere Beſchaffenheit und die Stoffe der Erde hinlänglich kennten.

185) Dieſe gelegentlich erlangte Beſtätigung der Hypotheſe der Umdrehung der Erde um ihre Axe muß den Leſer unfehlbar überraſchen. Eine Abweichung ihrer Geſtalt von derjenigen einer Kugel gehörte nicht unter die urſprünglichen Gründe für die Annahme dieſer Hypotheſe, die blos aufgeſtellt wurde, weil ſich mittelſt derſelben die ſcheinbare tägliche Bewegung des Himmels leicht erklären läßt. Aber einmal aufgeſtellt, hat ſie, wie wir ſehen, dieſe andere merkwürdige Erſcheinung, von welcher keine ſonſtige genügende Erklärung gegeben werden könnte, zur nothwendigen Folge. Ihr Zuſammenhang mit derſelben iſt in der That ſo direct, daß Newton die elliptiſche Geſtalt der Erde, als eine Folge ihrer Umdrehung, nicht nur entdeckt und bewieſen, ſondern auch die wirkliche Größe dieſer Ellipticität ſchon viel früher berechnet hat, als noch irgend eine Meſſung zu einem ſolchen Schluſſe geführt hatte. Je weiter wir unſern Gegenſtand verfolgen, deſto mehr werden wir finden, daß derſelbe einfache Grundſatz eine ganze Reihe merkwürdiger und wichtiger Folgen nach ſich zieht, von denen einige ganz einleuchtend ſind, andere aber anfangs gar nicht mit ihm in Verbindung zu ſtehen ſcheinen, und bis dahin, wo Newton ſie bis zu ihrem Urſprunge verfolgte, zu den unergründlichſten Geheimniſſen der Aſtronomie, wie nicht minder zu den größten Erſcheinungen derſelben, gehört haben.

186) Von den ganz einleuchtenden Folgen dieſes Grundſatzes wollen wir nur eine erwähnen, die mit unſerm jetzigen Gegenſtande in ganz natürlichem Zuſammenhange ſteht. Wenn die Erde wirklich ſich um ihre Axe dreht, ſo muß dieſe Umdrehung eine Centrifugalkraft erzeugen (ſiehe Art. 184), und die Wirkung derſelben muß darin beſtehen, einen gewiſſen Theil des Gewichtes jedes unter dem Aequator befindlichen Körpers, verglichen mit ſeinem Gewichte an den Polen, oder in zwiſchenliegenden Breitengraden, aufzuheben.

Dieſes hat ſich nun durch die Erfahrung vollkommen beſtätigt. Man hat wirklich eine Differenz in der Schwere, oder in dem Streben nach unten, eines und deſſelben Körpers bemerkt, wenn man ihn nach und nach an Orte unter verſchiedenen Breiten brachte. Mit der größten Sorgfalt und an jedem zugänglichen Theile der Erde angeſtellte Verſuche haben die Thatſache einer regelmäßigen und progreſſiven Zunahme der Schwere der Körper, der Zunahme der Breite entſprechend, vollkommen dargethan, und nicht nur den Betrag derſelben, ſondern auch das Geſetz der Progreſſion feſtgeſtellt. Aus dieſen Verſuchen geht hervor, daß der äußerſte Betrag dieſer Verſchiedenheit der Schwere oder der Differenz des Gewichtes einer und derſelben Subſtanzmaſſe unter dem Aequator und an den Polen, $\frac{1}{194}$ ſeines ganzen Gewichtes ausmacht, und daß die Größe der Zunahme, wenn man von dem Aequator nach dem Pole fortſchreitet, ſich verhält, wie das Quadrat des Sinns der Breite.

187) Der Leſer wird hier natürlich fragen, wie das gemeint ſey, daß derſelbe Körper an verſchiedenen Standpunkten verſchiedenes Gewicht habe, und wie eine ſolche Thatſache, wenn ſie wirklich wahr iſt, ausgemittelt werden könne. Wenn wir einen Körper mittelſt einer Waage oder einer Schnellwaage wägen, ſo wirken wir blos ſeinem Gewichte durch das gleiche Gewicht eines andern Körpers unter ganz einerlei Umſtänden entgegen; und wenn ſowohl der gewogene Körper, als auch ſein Gegengewicht, an einen andern Standort verſetzt werden, ſo wird ihre Schwere, wenn ſie ſich überhaupt verändert hat, ſich gleichmäßig verändert haben, ſo daß beide fortwährend einander im Gleichgewicht erhalten. Eine Differenz der Größe der Schwere kann deshalb durch dieſe Mittel nicht entdeckt werden; auch behaupten wir nicht in dieſem Sinne, daß ein Körper, welcher am Aequator 194 Pfund wiegt, am Pol 195 Pfund wiege. Sind beide in einer Waagſchale oder an einer Schnellwaage am erſtern Standorte balancirt, ſo wird

der Zuſatz eines Pfundes in der einen oder in der andern Waagſchale am Pol unvermeidlich ein Sinken des Waagbalkens herbeiführen.

188) Der Sinn des Satzes kann auf dieſe Weiſe erklärt werden: Man denke ſich ein Gewicht x (Fig. 28.) unter dem Aequator an einer gewichtloſen Schnur aufgehangen, welche über eine Rolle A und noch über andere Rollen (angenommen, daß dieſes möglich wäre), wie z. B. bei B, um die Convexität der Erde herum geſchlagen iſt, bis das andere Ende der Schnur am Pole herabhängt und dort ein Gewicht y trägt. Wären nun die Gewichte x und y von ſolcher Beſchaffenheit, daß ſie an irgend einem Standpunkte, unter dem Aequator oder am Pole, auf einer Waage, oder über eine einzelne Rolle gehangen, einander genau balancirten, ſo würden ſie in dieſer angenommenen Lage einander nicht balanciren, ſondern das Gewicht y am Pol würde präponderiren, und um das Gleichgewicht herzuſtellen, würde man das Gewicht x um $\frac{1}{164}$ ſeiner Quantität vermehren müſſen.

189) Die Mittel, durch welche die Exiſtenz dieſer Verſchiedenheit der Schwere dargethan und ihr Betrag gemeſſen werden kann, ſind zweifach (wie alle Schätzungen mechaniſcher Kraft), nämlich ſtatiſch und dynamiſch. Das erſtere Mittel beſteht darin, die Schwere eines Gewichtes zu äquilibriren, nicht mit derjenigen eines andern Gewichtes, ſondern mit einer Naturkraft verſchiedener Art, welche von der örtlichen Lage nicht afficirt werden kann. Eine ſolche Kraft iſt die Elaſticität einer Feder. Es ſey ABC (Fig. 29) ein ſtarker meſſingener Ständer auf einem Fuße AED, welcher mit erſterem ein feſtes Ganzes bildet; im Fuße iſt eine glatte Achatplatte D verſenkt, die mittelſt einer Libelle vollkommen horizontal geſtellt werden kann. Bei C werde eine Spiralfeder G befeſtigt, die an ihrem untern Ende ein Gewicht F trägt, welches unten polirt und convex iſt. Die Länge und Stärke der Feder muß ſo abgemeſſen ſeyn, daß das Gewicht F eben noch von ihr getragen wird, ohne die Achatplatte in der höchſten

Breite, unter welcher das Inſtrument angewendet werden ſoll, zu berühren. Werden alsdann kleine Gewichte vorſichtig hinzugeſetzt, ſo kann man es ſo weit herabſteigen laſſen, bis es die Achatplatte eben ſtreift, welche Berührung ſich mit der größten nur gedenkbaren Feinheit bewirken läßt. Dieſe Gewichte mögen aufgezeichnet, das Gewicht F abgenommen, die Feder G ſorgfältig von ihrem Hacken genommen und unterwegs vor Roſt, Gewaltthätigkeit oder Störung geſchüützt werden, und der ganze Apparat möge auf dieſe Weiſe nach einem Standpunkte von einer niederern Brete transportirt werden. Man wird dann finden, wenn man ihn wieder aufſtellt, daß, wenn er auch mit denſelben Zuſatzgewichten, wie vorher, belaſtet wird, das Gewicht F nicht mehr Kraft genug beſitzt, die Feder ſo weit auszudehnen, um eine ähnliche Berührung zu bewirken. Man wird mehr Gewichte zuſetzen müſſen, und dieſer nothwendige, neue Zuſatz muß, wie von ſelbſt einleuchtet, die Differenz der Schwere zwiſchen den beiden Standorten meſſen, welche auf die ganze Quantität der hängenden Maſſe, nämlich auf die Summe des Gewichtes F und der Hälfte des Gewichts der Spiralfeder ſelbſt, ausgeübt wird. Giebt man zu, daß eine Spiralfeder von ſolcher Stärke und von ſolchen Dimenſionen gefertigt werden könne, daß ein Gewicht von 10000 Gran, mit Einſchluß des eigenen Gewichtes der Feder, eine Verlängerung von 10 Zollen bewirken könne, ohne ſie permanent auszudehnen*), ſo

*) Ob das oben beſchriebene Verfahren jemals ſo weit vervollkommnet und verfeinert werden kann, daß es ein Erſatzmittel für das Pendel abgiebt, muß abhängig ſeyn von dem Grade der Permanenz und Gleichförmigkeit der Wirkung der Federn, von der Stetigkeit oder der Veränderlichkeit des Einfluſſes der Temperatur auf ihre Elaſticität, von der Möglichkeit, ſie abſolut unverändert von einem Orte zum andern zu transportiren, u. ſ. w. Die großen Vortheile indeſſen, welche, in Rückſicht auf Bequemlichkeit, Wohlfeilheit, Portabilität und Leichtigkeit in der Anwendung, ein ſolcher Apparat und die Art der Beobachtung vor dem gegenwärtigen mühſamen, langwierigen und koſt-

wird ein Gran Zulage eine fernere Ausdehnung von $\frac{1}{1000}$ Zoll bewirken, eine Quantität, welche bei einer Berührung, wie die in Frage ſtehende, unmöglich unerkannt bleiben kann. Somit hätten wir alſo ein Mittel, die Schwerkraft an irgend einem Standorte bis auf $\frac{1}{10000}$ ihrer ganzen Größe zu meſſen.

190) Das andere, oder das dynamiſche Verfahren durch welches die Kraft beſtimmt werden kann, die ein gegebenes Gewicht gegen die Erde hintreibt, beſteht darin, die Geſchwindigkeit auszumitteln, die ſie dem Gewichte verleiht, wenn man es in einer gegebenen Zeit, z. B. 1 Sekunde, frei fallen läßt. Dieſe Geſchwindigkeit kann zwar nicht direct gemeſſen werden, aber indirect, indem nämlich die Grundſätze der Mechanik, in der Beobachtung der Schwingungen eines Pendels, ein leichtes und ſicheres Mittel darbieten, ſie, und ſonach auch die Intenſität der Schwere zu beſtimmen. Es iſt in der Mechanik erwieſen, daß, wenn man ein und daſſelbe Pendel an verſchiedenen Standorten, oder unter dem Einfluſſe verſchiedener Kräfte ſchwingen läßt, und an jedem Orte die Anzahl der in derſelben Zeit vollbrachten Schwingungen zählt, die Intenſitäten der Kräfte ſich zu einander verhalten wie die Quadrate der Anzahl der ſtattgefundenen Schwingungen, und auf dieſe Art wird ihr Verhältniß bekannt. So hat man z. B. gefunden, daß ein Pendel von einer gewiſſen Geſtalt und Länge unter dem Aequator während eines mittlern Sonnentages 86400 Schwingungen macht; und daß daſſelbe Pendel, wenn es nach London gebracht wird, in derſelben Zeit 86535 Schwingungen macht. Daraus ſchließen wir, daß die Intenſität der Kraft, welche das Pendel am Aequator niederwärts zieht, ſich zu derjenigen in London, wie das Quadrat von 86400 zu dem Quadrate von 86535, oder

---

ſpieligen Verfahren voraus haben würde, ſind von der Art, daß der Verſuch wohl der Mühe werth wäre.

wie 1 zu 1,00313 verhält, oder mit andern Worten, daß eine Quantität Stoff, welche am Aequator 10000 Pfund wiegt, denſelben Druck auf den Boden, dieſelbe Kraftäußerung, einen unterlegten Körper zu zerdrücken, ausübt, welche $\frac{10000}{1,00313}$ d. h. $9968\frac{4}{5}$ derſelben Pfunde, nach London gebracht, dort ausüben würden.

191) Verſuche dieſer Art ſind, wie oben bemerkt wurde, in allen zugänglichen Breiten mit der größten Sorgfalt und äußerſten Vorſicht, zur Sicherung der Genauigkeit, angeſtellt worden; und ihr allgemeines und Endreſultat beſteht darin, $\frac{1}{194}$ als den Bruch zu geben, welcher die Differenz der Schwere am Aequator und an den Polen ausdrückt. Nun wird der Leſer unfehlbar bemerken, und es vielleicht als einen Einwurf gegen die hier durch die Umdrehung der Erde gegebene Erklärung der Sache benutzen, daß dieſer Bruch weſentlich von dem Bruche $\frac{1}{289}$ abweicht, welcher die Centrifugalkraft am Aequator ausdrückt. Die Differenz, um welche der vorige Bruch den letztern übertrifft, iſt $\frac{1}{590}$, eine geringe Quantität an und für ſich, aber noch immer, mit den andern fraglichen verglichen, zu groß, um nicht darüber beſonders Rechenſchaft geben zu müſſen, und um nicht obiger Erklärung den Todesſtoß zu geben, im Falle ſie nicht eine ſtrenge Rechenſchaft über dieſelbe darzulegen vermag.

192) Die Art, wie dieſe Differenz entſteht, gewährt ein intereſſantes und belehrendes Beiſpiel von dem indirecten Einfluße, den mechaniſche Urſachen oft ausüben, und wovon die Aſtronomie unzählige Belege darbietet. Die Umdrehung der Erde erzeugt die Centrifugalkraft; letztere hat eine elliptiſche Geſtalt der Erde ſelbſt zur Folge; und eben dieſe elliptiſche Geſtalt modificirt ihre Anziehungskraft in Bezug auf die auf ihrer Oberfläche befindlichen Körper, und veranlaßt auf dieſe Weiſe die fragliche Differenz. Hier übt alſo dieſelbe Urſache zu gleicher Zeit einen directen und einen

indirekten Einfluß aus. Der Betrag des erſtern iſt leicht, derjenige des letztern dagegen weit ſchwerer zu berechnen, indem dabei verwickelte und höchſt ſchwierige geometriſche Verfahrungsarten in Anwendung kommen, die wir in einem Werke, wie das gegenwärtige, nicht erläutern können, ſondern bei denen wir uns begnügen müſſen, blos die Natur und das Reſultat derſelben anzugeben.

193) Das Gewicht eines Körpers (wenn wir es als unvermindert durch eine Centrifugalkraft betrachten) iſt die Wirkung der Anziehung, welche die Erde auf denſelben ausübt. Dieſe Anziehung beſteht nun, nach Newtons Erklärung, nicht in dem Streben alles Stoffes gegen einen beſtimmten Mittelpunkt hin, ſondern in einer Neigung aller Maſſentheilchen im Weltalle, gegen einander zu ſtreben, und, wenn ſie keinen Widerſtand finden, ſich einander zu nähern. Die Anziehung, welche die Erde auf einen Körper äußert, der ſich auf ihrer Oberfläche befindet, iſt demnach nicht eine einfache, ſondern eine aus den einzelnen Anziehungen aller ihrer Theile zuſammengeſetzte Kraft. Es leuchtet nun ein, daß, wenn die Erde eine vollkommene Kugel wäre, die Anziehung, welche ſie auf einen Körper irgendwo an ihrer Oberfläche, ſey er am Aequator oder am Pole, ausübt, ſich ganz gleich ſeyn müßte, und zwar aus dem einfachen Grunde der genauen Symmetrie der Kugel in jeder Richtung. Es iſt nicht weniger einleuchtend, daß, da die Erde eine elliptiſche Geſtalt hat, und alſo dieſe Symmetrie oder ähnliche Lage aller ihrer Theile nicht beſteht, man auch nicht daſſelbe Reſultat erwarten kann. Ein Körper unter dem Aequator, und ein ähnlicher am Pol eines abgeplatteten Ellipſoids, ſtehen zur Maſſe, als einem Ganzen, in ſehr verſchiedenem geometriſchen Verhältniſſe. Es läßt ſich nun, ohne weiter in Einzelnheiten einzugehen, erwarten, daß dieſe Verſchiedenheit auch eine Differenz der Anziehungskräfte auf die beiden Körper mit ſich bringe, und die Rechnung beſtätigt dieſe Anſicht. Dieſer Gegenſtand eignet ſich für eine reine mathematiſche Unterſuchung, und er iſt mit vollkommener

Klarheit und Beſtimmtheit von Newton, Maclaurin, Clairaut und vielen anderen ausgezeichneten Geometern abgehandelt worden; das Reſultat ihrer Unterſuchungen ergiebt, daß, wegen der elliptiſchen Geſtalt der Erde allein, und unabhängig von der Centrifugalkraft, ihre Anziehung das Gewicht eines Körpers um faſt genau $\frac{1}{590}$ vermehren müſſe, wenn man ſich vom Aequator nach dem Pole begiebt, was zuſammen mit dem $\frac{1}{289}$, welches auf die Centrifugalkraft kommt, die ganze beobachtete Quantität von $\frac{1}{194}$ giebt.

194) Eine andere große geographiſche Erſcheinung die in der Umdrehung der Erde begründet iſt, ſind die Paſſatwinde. Dieſe mächtigen Strömungen in unſerer Atmoſphäre, von welchen ein ſo wichtiger Theil der Schifffahrt abhängt, haben zwei Entſtehungsurſachen. Die erſte liegt in dem Umſtande, daß die Oberfläche der Erde den Sonnenſtrahlen ungleichmäßig exponirt iſt, folglich in verſchiedenen Breiten ungleichmäßig erwärmt wird; und die zweite beruht in dem allgemeinen Geſetze, nach welchem alle Flüſſigkeiten, wenn ſie erwärmt ſind, ein größeres Volumen einnehmen und ſpecifiſch leichter werden, als im kalten Zuſtande. Dieſe Urſachen, in Verbindung mit der Umdrehung der Erde von Weſten nach Oſten, gewähren eine leichte und befriedigende Erklärung der in Frage ſtehenden großartigen Erſcheinung.

195) Es iſt eine beobachtete Thatſache, welche weiter unten erklärt werden wird, daß die Sonne beſtändig vertikal über einem, oder einem andern Theile der Erde zwiſchen zwei Parallelkreiſen der Breite ſich befindet, welche die Wendelkreiſe genannt werden, und von denen der eine $23\frac{1}{2}°$ nördlich und der andere eben ſo viel ſüdlich vom Aequator liegt; und daß dieſe ganze Zone, oder dieſer Gürtel der Erdoberfläche, welcher zwiſchen den Wendelkreiſen eingeſchloſſen iſt, und vom Aequator in zwei gleiche Theile getheilt wird, wegen der

großen Höhe, welche die Sonne in ihrem täglichen Laufe erreicht, in einer weit höhern Temperatur erhalten wird, als diejenigen Gegenden, welche nach Norden und Süden den Polen näher liegen. Die Wärme, welche die Erdoberfläche auf dieſe Weiſe empfangen hat, wird nun der auf derſelben lagernden Luft mitgetheilt, wodurch dieſelbe ausgedehnt und ſpecifiſch leichter, als diejenige Luft wird, welche auf dem übrigen Theile der Erdkugel ruht. Nach allgemeinen hydroſtatiſchen Geſetzen muß ſie deshalb ihren Ort verändern und ſich von der Oberfläche erheben; ihre Stelle wird von kälterer, und deshalb ſchwererer, Luft eingenommen, welche längs der Oberfläche von beiden Seiten aus den Gegenden jenſeits der Wendekreiſe zuſtrömt, während die verdrängte Luft, welche auf dieſe Weiſe über ihr gehöriges Niveau emporgehoben worden iſt, und von keinem Seitendrucke zuſammen gehalten wird, gleichſam überfließt, und eine obere Strömung in der entgegengeſetzten Richtung, oder nach den Polen hin, bildet; und indem dieſe nun in ihrem Laufe abgekühlt und auch niedergezogen wird, um den Mangel in den Gegenden jenſeits der Wendekreiſe zu erſetzen, ſo wird eben dadurch ein beſtändiger Kreislauf unterhalten.

196) Da die Erde ſich um eine Axe dreht, welche durch die Pole geht, ſo muß derjenige Theil ihrer Oberfläche, welcher unter dem Aequator liegt, die größte Umdrehungs-Geſchwindigkeit und alle andern Theile, im Verhältniſſe der Halbmeſſer der Breitenkreiſe, welchen ſie entſprechen, eine geringere Geſchwindigkeit beſitzen. Da aber die Luft, wenn ſie ſich relativ und ſcheinbar an irgend einem Theile der Erdoberfläche im Zuſtande der Ruhe befindet, in dieſem Zuſtande nur aus dem Grunde iſt, weil ſie in der That an derjenigen Umdrehungsbewegung Theil nimmt, welche dieſem Erdtheile eigenthümlich iſt: ſo folgt daraus, daß, wenn eine Luftmaſſe von den Polen durch irgend einen Impuls direkt an den Aequator verſetzt würde, ſie auf jedem Punkte des Weges nach ihrer neuen Beſtimmung von unzulänglicher Umdrehungsgeſchwindigkeit erfunden werden, und deshalb nicht im Stande

ſeyn würde, es der neuen Oberfläche, über welche ſie ihr Weg führt, an Geſchwindigkeit gleich zu thun. Deshalb müſſen die Luftſtrömungen, welche aus Norden und Süden ſich gegen den Aequator wenden, während ſie über die Oberfläche ſtreichen, zu gleicher Zeit zögern oder zurückbleiben, und in einer Richtung, welche der Umdrehung der Erde entgegengeſetzt iſt, d. h. von Oſten nach Weſten, ſich auf der Oberfläche fortwälzen. Auf dieſe Weiſe erlangen dieſe Strömungen, die ohne die Umdrehung der Erde nur nördliche und ſüdliche Winde ſeyn würden, eine relative Richtung gegen Weſten, und nehmen den Charakter permanenter nordöſtlicher und ſüdöſtlicher Winde an.

197) Würde eine beträchtliche Luftmaſſe aus den Regionen außerhalb der Wendekreiſe plötzlich unter den Aequator verſetzt, ſo würde die Differenz der den beiden Orten zukommenden Umdrehungsgeſchwindigkeiten ſo groß ſeyn, daß nicht blos ein Wind, ſondern ein Sturm von der zerſtörendſten Heftigkeit entſtehen müßte. Aber eine ſo plötzliche Verſetzung findet nicht ſtatt: der Zufluß der Luft aus Norden und Süden erfolgt nach und nach, und während dieſer Zeit wirkt die Erde beſtändig ein, und beſchleunigt vermöge der Friction ihrer Oberfläche die Umdrehungsgeſchwindigkeit der Luft. Angenommen, das Fortſchreiten der Luft gegen den Aequator hin höre an irgend einem Punkte auf, ſo würde dieſe Urſache ihr faſt unmittelbar die fehlende Umdrehungsbewegung mittheilen, worauf ſie mit der Erde gleichmäßig umlaufen und in relativer Ruhe ſich befinden würde. Wir brauchen nur an die verhältnißmäßige Dünne der Hülle zu erinnern, welche die Atmoſphäre um die Erdkugel bildet (Art. 34.), und an die unermeßliche Maſſe der letztern, im Vergleiche mit erſterer (welche ſie wenigſtens hundert Millionenmal übertrifft), um die abſolute Herrſchaft eines ausgebreiteten Landſtriches der Erde über die unmittelbar auf demſelben lagernde Atmoſphäre, rückſichtlich der Bewegung, gehörig zu würdigen.

198) Es folgt alſo hieraus, daß, ſo wie ſich die

Winde von beiden Seiten dem Aequator nähern, auch ihre öſtliche Strömung abnehmen müſſe.*) Die Längen der Breitenkreiſe nehmen in der unmittelbaren Nähe des Aequators nur noch ſehr langſam zu, und verändern ſich auf mehrere Grade zu beiden Seiten deſſelben kaum im Geringſten. Dadurch gewinnt die Friction der Oberfläche mehr Zeit, auf die Beſchleunigung der Geſchwindigkeit der Luft hinzuwirken, ſie in einen Zuſtand relativer Ruhe zu verſetzen, und dadurch den relativen Lauf der Strömungen von Oſten nach Weſten zu vermindern, der an ſich ſchon ſchwach iſt, und zuletzt durch die urſprüngliche Veranlaſſungsurſache nicht im Geringſten mehr verſtärkt wird. Haben daher die Paſſatwinde den Aequator erreicht, ſo läßt ſich erwarten, daß ſie ihren öſtlichen Charakter gänzlich verlieren; aber nicht allein dieſes, ſondern die nördlichen und ſüdlichen Strömungen begegnen ſich hier, leiſten einander Widerſtand, und werden ſich gegenſeitig aufheben, wobei etwa nur ein ſolches Uebergewicht der einen über die andern zurückbleibt, das von einer Differenz örtlicher Urſachen herrühren mag, welche in den beiden Hemiſphären in Thätigkeit ſeyn und in manchen Gegenden um den Aequator auf der einen, in manchen auf der andern Seite liegen können.

199) Die Folge hiervon wird alſo ſeyn, daß zwei große tropiſche Zonen entſtehen; in der nördlichen muß ein beſtändiger Nordoſtwind, und in der ſüdlichen ein beſtändiger Südoſtwind herrſchen, während die Winde in der, zwiſchen jenen beiden liegenden, Aequatorzone riehältnißmäßig ruhig, und frei von einem beſtändig vorherrſchenden öſtlichen Charakter ſeyn würden. Alle dieſe Schlußfolgerungen ſtimmen mit den beobachteten Thatſachen überein, und die oben beſchriebene Art und

*) Siehe Capitain Hall's, Fragments of Voyages and Travels, Second series, Vol. I. pag. 162, wo dieſes ſehr deutlich und, ſoviel mir bekannt, zum erſtenmale auseinander geſetzt worden iſt.

Der Verfaſſer.

Weiſe der Luftſtrömungen bewirkt wirklich dasjenige, was man unter den regelmäßigen Paſſatwinden verſteht.*)

200) Die beſtändige Friction, welche auf dieſe Weiſe zwiſchen der Erde und der Atmoſphäre in den Gegenden am Aequator ſtattfindet, muß (wie man einwenden könnte) allmählig die Umdrehung der ganzen Maſſe ſchwächen und zuletzt vernichten. Die Geſetze der Dynamik machen indeſſen eine ſolche Folge im Allgemeinen unmöglich, und im gegenwärtigen Falle insbeſondere iſt leicht zu erkennen, wo und wie die Ausgleichung ſtattfindet. Die erhitzte Luft des Aequators führt, während ſie ſich erhebt und nach den Polen hin überfließt, die Umdrehungsgeſchwindigkeit, die ihr unter dem Aequator zukam, in höhere Breiten mit ſich, wo die Erdoberfläche eine geringere Bewegung hat. Während ſie deshalb nach Norden oder Süden ſich wendet, wird ſie immer mehr und mehr über die Oberfläche der Erde in ihrer täglichen Bewegung den Vorſprung gewinnen, und beſtändig eine mehr öſtliche relative Richtung annehmen; und wenn ſie endlich in ihrer Circulation zur Oberfläche zurückkehrt, was in dem ganzen Raume zwiſchen den Wendekreiſen und den Polen mehr oder weniger geſchehen muß, ſo wird ſie auf dieſelbe durch ihre Friction als ein ſtarker Südweſtwind in der nördlichen Hemiſphäre, und als ein Nordweſtwind in der ſüdlichen wirken, und ihr den Impuls wieder zurückgeben, den ſie unter dem Aequator erhalten hat. Wir haben hier alſo den Urſprung der ſüdweſtlichen und weſtlichen Winde, die in unſern Breitengraden ſo vorherrſchend ſind, und der faſt beſtändigen Weſtwinde im nördlichen Theile des atlantiſchen Meeres, die in der That nichts anderes ſind, als ein Theil des allgemeinen Syſtemes der Reaction der Paſſatwinde, und des Prozeſſes, durch welchen unter ihrem

*) Siehe das zuletzt citirte Werk.

Einfluſſe das Gleichgewicht in der Umdrehung der Erde erhalten wird. *)

201) Um eine Charte oder ein Modell der Erde zu conſtruiren, und eine Kenntniß der Vertheilung des Meeres und des Landes auf ihrer Oberfläche, der Formen der Umriſſe ihrer Feſtländer und Inſeln, des Laufes ihrer Flüſſe und Bergketten, ſo wie der relativen Lage derjenigen Punkte gegen einander zu erlangen, die uns hauptſächlich als Mittelpunkte menſchlicher Wohnungen, oder aus andern Urſachen intereſſiren, muß man die Mittel beſitzen, die Lage irgend eines gegebenen Ortes auf der Oberfläche der Erde richtig zu beſtimmen. Für dieſen Zweck braucht man nur zwei Elemente zu kennen, nämlich die geographiſche Länge

*) Da es blos unſere Abſicht iſt, zu erläutern, wie die Umdrehung der Erde die Atmoſphäre im Großen afficirt, ſo laſſen wir örtliche periodiſche Winde, wie z. B. die Monſoons u. ſ. w., außer aller Betrachtung.

Es wäre der Unterſuchung werth, ob Orkane in tropiſchen Himmelsſtrichen nicht dadurch entſtehen, daß Theile der oberen Strömungen zu frühzeitig niederwärts ſich richten, ehe ihre relative Geſchwindigkeit durch Reibung an den unteren Luftſchichten, und durch allmählige Vermiſchung mit ihnen, hinlänglich verringert worden iſt; und daß ſie mit jener fürchterlichen Geſchwindigkeit auf die Erde ſtürzen, welche ihnen ihren zerſtörenden Charakter verleiht, und von welcher bis jetzt noch kaum eine vernünftige Erklärung gegeben worden iſt. Sie verfolgen im Allgemeinen eine dem regelmäßigen Paſſatwinde entgegengeſetzte Richtung, wie es auch der hier aufgeſtellten Anſicht ganz gemäß iſt (Young's Lektures I. 704). Aber daraus folgt keineswegs, daß dieſes immer der Fall ſeyn müſſe. Im Allgemeinen würde eine raſche Verſetzung einer Luftmaſſe nach irgend einer Breite, wenn ſie durch örtliche oder temporäre Urſachen über den unmittelbaren Bereich der Friction der Erdoberfläche fortgeführt würde, eine ungeheure Vergrößerung ihrer Geſchwindigkeit zur Folge haben. Wo eine ſolche Maſſe die Erde berührte, würde ein Orkan erfolgen; und ſollten zwei ſolcher Maſſen mitten in der Luft auf einander ſtoßen, ſo könnte aus ihrer Verbindung leicht eine Windsbraut von einem Grade der Intenſität entſtehen, wie man ihn nur jemals erlebt hat.

Der Verfaſſer.

und Breite; letztere beſtimmt den Abſtand des Ortes von den Polen, oder vom Aequator, und erſtere den Meridian, auf welchem dieſer Abſtand gerechnet wird. Außerdem iſt ſtreng genommen, noch die Höhe des fraglichen Ortes über den Meeresſpiegel erforderlich: aber die Berückſichtigung dieſes leztern Umſtandes wird zweckmäßiger noch verſchoben, um den Gegenſtand nicht zu verwickeln.

202) Die Breite eines Standpunktes auf einer Kugel würde blos die in Graden ausgedrückte Länge eines Meridianbogens ſeyn, welcher zwiſchen dem Standpunkte und dem nächſten Punkte des Aequators liegt. (Art. 86.) Da aber die Erde elliptiſch iſt, ſo wird dieſe Art, die Breiten aufzufaſſen, unanwendbar, und wir ſind genöthigt, zum Behuf unſerer Definition der Breite jene Eigenſchaft derſelben zu generaliſiren (Art. 95.), welche das bequemſte Mittel an die Hand giebt, ſie durch Beobachtung zu beſtimmen, und welche den Vortheil gewährt, von der Geſtalt der Erde unabhängig zu ſeyn, die überdieß nicht vollkommen genau ein Ellipſoid, oder irgend ein ſonſtiger bekannter geometriſcher Körper iſt. Die Breite eines Standpunktes iſt alſo die Höhe des erhabenen Poles, und ſie wird deshalb aſtronomiſch, nach den für die Ausmittelung dieſes wichtigen Elementes bereits erklärten Methoden, beſtimmt. Man wird ſich bei dieſer Gelegenheit auch erinnern, daß, um eine völlig richtige Charte der ganzen Erdoberfläche, oder eines Theiles derſelben, zu machen, gleiche Unterſchiede der Breite nicht durch genau gleiche Zwiſchenräume auf der Oberfläche dargeſtellt werden (Art. 172.).

203) Die Breite eines Standortes zu beſtimmen, iſt alſo eine leichte Sache; anders verhält es ſich mit der Länge deſſelben, deren genaue Beſtimmung ſchon weit ſchwieriger iſt. Der Grund davon iſt folgender: Da die Meridiane eben ſo wenig, als die Parallelkreiſe der Breite, auf der Erde bezeichnet ſind, ſo müſſen wir für die Beſtimmung der Länge eben ſo, wie für diejenige der Breite, Marken zu Hülfe nehmen, welche außerhalb der Erde liegen, d. h. die Himmels-

körper als Zielpunkte unſerer Meſſung anwenden, bei welchen beiden Fällen jedoch der Unterſchied ſtattfindet, daß den Beobachtern auf Standpunkten in dem nämlichen Meridiane (die mithin verſchiedene Breite haben) der Himmel beſtändig ein verſchiedenes Anſehen darbietet. Die Theile deſſelben, welche während einer vollſtändigen täglichen Umdrehung ſichtbar werden, ſind nicht die nämlichen, und Sterne, welche beiden Beobachtern gemeinſchaftlich ſind, beſchreiben Kreiſe, die verſchiedene Neigungen gegen ihre Horizonte haben und von letzteren auf verſchiedene Weiſe geſchnitten werden, und erlangen verſchiedene Höhen. Den Beobachtern dagegen, welche ſich auf demſelben Parallelkreiſe befinden (ſo daß ſie nur eine verſchiedene Länge haben), gewährt der Himmel immer denſelben Anblick. Die ſichtbaren Theile deſſelben ſind für beide die nämlichen, und dieſelben Sterne beſchreiben Kreiſe von gleicher Neigung gegen den Horizont, der ſie auf gleiche Weiſe durchſchneidet, und ſie erlangen dieſelben Höhen. In dem erſtern Falle zeigt Alles, und in dem letztern zeigt Nichts in dem Anſehen des Himmels, wenn man ihn während einer ganzen Tagesumdrehung beobachtet, einen Unterſchied in der Oertlichkeit des Beobachters an.

204) Aber zwei Beobachter an der Länge nach verſchiedenen Punkten der Oberfläche der Erde bekommen nicht in demſelben Augenblicke dieſelbe Hemiſphäre des Himmels zu Geſicht. Größerer Beſtimmtheit wegen wollen wir annehmen, ein Beobachter befinde ſich an einem gegebenen Punkte des Aequators, und in dem Moment, wo er einen glänzenden Stern in ſeinem Zenith und folglich in ſeinem Meridiane beobachtet, werde er in einem Augenblick um den vierten Theil der Erdkugel in weſtlicher Richtung verſetzt, ſo iſt klar, daß derſelbe Stern nicht mehr vertikal über ihm ſteht, ſondern daß er jetzt ihm eben aufgeht; und er wird noch 6 Stunden warten müſſen, bis der Stern wieder in ſein Zenith kommt, d. h. bis die Umdrehung der Erde von Weſten nach Oſten den Beobachter wie-

derum in die von ihm verlaſſene, den Stern und den Erdmittelpunkt verbindende Linie zurückführt.

205) Der Unterſchied obiger beiden Fälle kann alſo, um uns einen Schlüſſel für die aſtronomiſche Löſung des Längenproblemes zu geben, ſo ausgedrückt werden: In dem Falle, daß die Standpunkte nur in der Breite verſchieden ſind, kommt derſelbe Stern zu der nämlichen Zeit, aber in verſchiedenen Höhen, in den Meridian, und in dem Falle, daß die Standpunkte nur hinſichtlich der Länge verſchieden ſind, culminirt er in derſelben Höhe, aber zu verſchiedenen Zeiten. Angenommen alſo, ein Beobachter beſitze ein Mittel, durch welches er zuverläſſig die Zeit erfahren kann, wenn ein bekannter Stern durch ſeinen Meridian geht, ſo weiß er damit die Länge ſeines Standpunktes; oder wenn er den Unterſchied der Zeiten des Durchganges dieſes Sternes durch den Meridian ſeines Standpunktes und durch den eines andern Standpunktes kennt, ſo kennt er auch die Längendifferenz beider Standpunkte. Wenn z. B. derſelbe Stern durch den Meridian eines Ortes A in einem gewiſſen Augenblick geht, und durch denjenigen von B genau um 1 Stunde Sternzeit, oder um $^1/_{24}$ der täglichen Erdumdrehungsperiode, ſpäter, ſo beträgt die Längendifferenz zwiſchen A und B eine Stunde Zeit, oder 15°, und B liegt um ſo viel weſtlich von A.

206) Um das Princip vollkommen klar zu verſtehen, nach welchem die Aufgabe, die Länge durch aſtronomiſche Beobachtungen zu finden, gelöſet wird, muß der Leſer zwiſchen Zeit in abstracto, wie ſie dem ganzen Univerſum gemein iſt, und deshalb von einer Epoche an gerechnet wird, die von örtlicher Lage ganz unabhängig iſt, und zwiſchen örtlicher Zeit unterſcheiden lernen, die an jedem beſondern Orte von einer Epoche oder von einem Anfangsaugenblicke an gerechnet wird, der ſich nach örtlicher Convenienz beſtimmt. Ein Beiſpiel einer Zeit der erſtern oder abſtracten Art haben wir in derjenigen, welche wir weiter oben als Aequinoctialzeit deſinirt haben, die von einer Epoche

12 *

beginnt, welche durch die Bewegung der Sonne unter den Sternen beſtimmt wird. Beiſpiele der letztern, die nach der Localität gerechnet wird, gewährt uns jede nach Sternzeit gehende Uhr auf einer Sternwarte und jede gewöhnliche Stadtuhr. Jeder Aſtronom regulirt ſeine Sternzeituhr, oder ſtrebt wenigſtens ſie ſo zu reguliren, daß ſie 0 St. 0 Min. 0 Sec zeigt, wenn ein gewiſſer Punkt am Himmel, der ſogenannte Nachtgleichenpunkt, im Meridiane ſeines Beobachtungsortes ſteht. Dieſes iſt die Epoche ſeiner Sternzeit, und die Rechnung derſelben folglich ganz lokal. Man erhält keine Belehrung dadurch, daß man ſagt, ein Ereigniß habe um die und die Stunde Sternzeit ſtattgefunden, wenn nicht zugleich der Standpunkt genau bezeichnet iſt, auf welchen ſich die angegebene Sternzeit bezieht. Ganz ſo verhält es ſich mit der mittleren oder gewöhnlichen Zeit; denn ſie iſt ebenfalls eine lokale Rechnung, und ihre Epoche der mittlere Mittag, oder der Durchſchnitt aller Zeiten durchs ganze Jahr, in welchen die Sonne im Meridiane des beſondern Ortes ſteht, auf welchen ſich die mittlere Sonnenzeit bezieht; und wenn wir deshalb irgend ein Ereigniß auf gleiche Weiſe nach mittlerer Zeit angeben, ſo müſſen wir auch den Ort nennen, oder ſpeciell bezeichnen, welche mittlere Zeit wir meinen. Eine Angabe nach Aequinoctialzeit iſt dagegen abſolut, und bedarf keines ſolchen erklärenden Zuſatzes.

207) Der Aſtronom ſtellt und regulirt ſeine Sternzeituhr dadurch, daß er die Culminationen der ausgezeichneteren und gut bekannten Sterne beobachtet. Jeder von ihnen nimmt am Himmel einen gewiſſen beſtimmten und bekannten Ort in Bezug auf den imaginären Punkt ein, welcher der Nachtgleichenpunkt heißt, und wenn man die Culminationen derſelben, wie ſie auf einander folgen, nach der Uhr aufzeichnet, ſo weiß man, wann der Nachtgleichenpunkt in den Meridian tritt. In dieſem Moment muß die Uhr des Aſtronomen auf 0 St. 0 M. 0 S. ſtehen; und wenn dieſes nicht der Fall iſt, ſo kennt er den Fehler und kann ihn

verbeſſern: und durch die Uebereinſtimmung oder Nicht-übereinſtimmung der Fehler, die er bei jedem Sterne bemerkt, iſt er im Stande, auszumitteln, ob ſeine Uhr genau ſo regulirt iſt, daß ſie zu einem täglichen Umlaufe des Himmels gerade 24 Stunden braucht, und wenn dieſes nicht der Fall iſt, ſo kann er dadurch den Gang derſelben erforſchen und ihn in Rechnung nehmen. Wenn nun auch ſeine Uhr nicht ganz richtig eingeſtellt iſt, oder nicht genau nach Sternzeit geht, was ganz vollkommen auch nicht ſeyn kann, ſo vermag der Aſtronom doch, wenn er den Fehler und den Gang derſelben (wie man es techniſch nennt) weiß, die Anzeigen der Uhr zu berichtigen, und die denſelben ſo wie ſeiner Localität, entſprechenden Sternzeiten genau auszumitteln. Dieſe unerläßliche Operation heißt die Beſtimmung der örtlichen Zeit. Der Einfachheit der Erklärung wegen, nehmen wir indeſſen die Pendeluhr als ein ganz vollkommenes Inſtrument an, oder, was auf eins hinauskommt, wir ſetzen voraus, daß ihr Fehler und ihr Gang für jeden Augenblick, wo wir ſie zu Rathe ziehen, berückſichtigt und in ihre Indicationen mit eingeſchloſſen iſt.

208) Wenn nun zwei Beobachter an verſchiedenen Orten A und B, jeder unabhängig von dem andern, ihre Uhr genau nach der Sternzeit des betreffenden Ortes einſtellen und reguliren, und eine dieſer Uhren, ohne ihren Gang zu ſtören, zu derjenigen des andern Beobachters verſetzt werden könnte, ſo iſt einleuchtend, daß Beide, nach angeſtellter Vergleichung, genau um den Unterſchied ihrer Localepochen von einander differiren werden, d. h. um die Zeit, welche der Nachtgleichenpunkt oder irgend ein Stern braucht, um von dem Meridiane des Ortes A zu demjenigen von B zu gelangen.

209) Eine Pendeluhr läßt ſich nun nicht auf dieſe Weiſe fortnehmen und ohne Störung von einem Orte zum andern transportiren, aber bei einem Chronometer kann dieſes allerdings geſchehen. Angenommen alſo, der Beobachter bei B habe einen Chronometer ſtatt einer Pendeluhr, ſo iſt er durch Verſetzung des Inſtrumentes an den andern Ort, im Stande, eine direkte

Vergleichung der Sternzeiten anzuſtellen, und ſo ſeine Länge von A zu erfahren. Und ſelbſt, wenn jener Beobachter eine Pendeluhr anwendet, ſie aber alsdann mit einem guten Chronometer vergleicht, und nun das letztere Inſtrument transportirt, um es mit der andern Pendeluhr zu vergleichen, ſo läßt ſich derſelbe Zweck erreichen, ſobald man ſich nur auf den Gang des Chronometers verlaſſen kann.

210) Wären die Chronometer vollkommen, ſo könnte man nichts Vollſtändigeres und Bequemeres, als dieſe Art, die Längenunterſchiede auszumitteln, wünſchen. Ein Beobachter, verſehen mit einem ſolchen Inſtrumente und außerdem mit einem tragbaren Mittagsfernrohre, oder ſonſt einem eben ſo guten Mittel, die örtliche Zeit an jedem gegebenen Standpunkte zu beſtimmen, könnte, wenn er von Ort zu Ort wanderte, und an jedem Orte die Culminationen der Sterne beobachtete (wobei er dafür zu ſorgen hat, ſeinen Chronometer nicht zu ändern, oder ihn ablaufen zu laſſen), die Längendifferenzen dieſer Orte mit jeder erforderlichen Schärfe beſtimmen. Wird in einem ſolchen Falle derſelbe Chronometer an einem jeden Orte gebraucht, und zeigt er an dem einen Orte A die richtige Sternzeit, ſo wird er an einem andern Orte B die Sternzeit, gerade um ſo viel fehlerhaft zeigen, als die Differenz der Längen von A und B beträgt: mit andern Worten, der Längenunterſchied von B und A wird ſich als Fehler des Chronometers in der örtlichen Zeit von B zeigen. Reiſet der Beobachter nach Weſten, ſo wird ſein Chronometer beſtändig vorzueilen ſcheinen, obſchon er in der That ganz richtig geht. Verläßt er z. B. A, wenn der Nachtgleichenpunkt im Meridiane ſteht, oder ſein Chronometer 0 St. 0 M. 0 S. zeigt, und iſt er in 24 Stunden Sternzeit 15 Grade weſtlich nach B gelangt, ſo wird ſein Chronometer, im Augenblicke ſeiner Ankunft daſelbſt, wiederum 0 Stunden u. ſ. w. zeigen, aber der Nachtgleichenpunkt wird nicht in ſeinem neuen Meridiane, ſondern in demjenigen von A ſtehen, und er muß noch eine ganze Stunde warten, bis derſelbe in den Meridian von B tritt. Sobald dieſes geſchieht, wird die Uhr des Beobachters nicht mehr auf 0 Stun-

den, ſondern auf 1 St. ſtehen, und ſie wird deshalb in Bezug auf die örtliche Zeit von B um 1 Stunde vorgehen. Begiebt ſich der Beobachter nach Oſten, ſo wird das Umgekehrte ſtattfinden.

211) Wenn nun ein Beobachter von irgend einem Standpunkte, wie vorhin erwähnt wurde, ſich entfernt, und beſtändig in weſtlicher Richtung fortſchreitet, um den Weg um die ganze Erde zu machen, und wenn er endlich an den Punkt zurückkehrt, von wo er ausgegangen iſt, ſo wird ein merkwürdiger Fall eingetreten ſeyn: er wird einen ganzen Tag in ſeiner Zeitrechnung verloren haben. Er wird nämlich den Tag ſeiner Ankunft z. B. als einen Montag eintragen, während es in der That ein Dienſtag iſt. Der Grund davon iſt einleuchtend. Tag und Nacht entſtehen durch die abwechſelnde Erſcheinung der Sonne und der Sterne, ſo wie die Umdrehung der Erde den Beobachter mit herumführt und ſie ihn nach einander erblicken läßt. So viele Umdrehungen er um den Mittelpunkt macht, ſo viele Tage und Nächte zählt er. Wenn er aber ein einziges Mal um die Erdkugel in der Richtung ihrer Bewegung wandert, ſo wird er bei ſeiner Zurückkunft in der Wirklichkeit einen ganzen Umlauf um ihren Mittelpunkt mehr gemacht haben; und ſtellt er ſeine Wanderung in der entgegengeſetzten Richtung an, ſo wird er einen Umlauf weniger gemacht haben, als wenn er an einem Punkte ihrer Oberfläche ſtationär geblieben wäre. In dem erſtern Falle wird er alſo eine Abwechſelung von Tag und Nacht mehr, und in dem letztern eine weniger erlebt haben, als wenn er es der Umdrehung der Erde allein überlaſſen hätte, ihn herumzuführen. Da ſich die Erde von Weſten nach Oſten umdreht, ſo folgt, daß eine weſtliche Richtung ſeiner Reiſe, durch welche er ihrer Umdrehung entgegenwirkt, ihn einen Tag verlieren, und eine öſtliche Richtung, in welcher er mit der Umdrehung zugleich wirkt, ihn einen Tag gewinnen laſſen muß. In dem erſtern Falle werden alle ſeine Tage länger, und in dem letztern kürzer ſeyn, als diejenigen eines ſtationären Beobachters. Dieſer Umſtand iſt allen Weltumſeglern begegnet. Der-

ſelbe muß auch nothwendig zur Folge haben, daß entfernte Niederlaſſungen, unter demſelben Meridiane, in ihrer gewöhnlichen Zeitrechnung um einen Tag differiren, je nachdem ſie von Coloniſten bevölkert worden ſind, die in einer öſtlichen oder in einer weſtlichen Richtung anlangten, — ein Umſtand, der eine ſeltſame Verwirrung herbeiführen kann, wenn ſie mit einander in Communication treten ſollten. Die einzige Art und Weiſe, dieſer Zweideutigkeit abzuhelfen, und den Streit zu ſchlichten, den eine ſolche Differenz veranlaſſen kann, beſteht darin, nach Aequinoctialzeit zu rechnen, welche nie zweideutig ſeyn kann.

212) Es iſt für Geographie und für Schifffahrt zu bedauern, daß der Chronometer, wiewohl in hohem Grade und wahrhaft bewundernswerth durch die Geſchicklichkeit der neuern Künſtler verbeſſert, doch immer noch nicht ein ſo vollkommenes Inſtrument iſt, daß man ſich blindlings darauf verlaſſen könnte. Ein ſolches Inſtrument kann einige Stunden, oder ſelbſt Tage lang einen gleichförmigen Gang behalten, aber bei langen Abweſenheiten von der Heimath werden die Wechſelfälle von Fehler und Zufall ſo vervielfältigt, daß man ſich auch auf das beſte nicht mit Sicherheit verlaſſen kann. Bis zu einem gewißen Umfange läßt ſich dieſem Uebel dadurch begegnen, daß man mehrere Chronometer zugleich mitnimmt, und ſie zu gegenſeitiger Controle benutzt; aber, auch abgeſehen von den Koſten und der Mühe, iſt dieſes doch nur ein Palliativmittel gegen das Uebel, und zwar gegen das große und Hauptübel, indem es das einzige iſt, dem die Beſtimmung der Längen durch Chronometer ausgeſetzt iſt. — Man muß deshalb noch andere Mittel in Anwendung bringen, um die lokale Zeit eines Standpunktes einem andern Standpunkte mitzutheilen, oder um von einem Hauptſtandpunkte, als einem Mittelpunkte, deſſen lokale Zeit als ein univerſelles Normalmaaß fortzupflanzen, mit welchem die örtlichen Zeiten aller andern Standpunkte, wo dieſelben auch liegen mögen, auf einmal verglichen, und ſolchergeſtalt

die Längen aller dieſer Orte auf den Meridian eines derartigen Centralpunktes bezogen werden können.

213) Das einfachſte und zuverläſſigſte Mittel, dieſen Zweck zu erreichen, ſobald die Umſtände die Anwendung deſſelben geſtatten, ſind telegraphiſche Signale. A und B ſollen zwei Sternwarten, oder andere mit genauen Hülfsmitteln, um ihre reſpective örtliche Zeit zu beſtimmen, verſehene Standorte ſeyn, und wir wollen auch zuvörderſt annehmen, daß man von dem einen aus den andern ſehen könne. Sind ihre Pendeluhren regulirt, und die Fehler und der Gang derſelben ausgemittelt, ſo ſoll in A ein Signal von plötzlicher und beſtimmter Beſchaffenheit, z. B. die Flamme von entzündetem Schießpulver, die Exploſion einer Rakete, das plötzliche Erlöſchen eines glänzenden Lichtes, oder irgend ein anderes Signal gegeben werden, welches kein Mißverſtändniß geſtattet und in großer Entfernung geſehen werden kann. Der Augenblick, in welchem das Signal gegeben wird, muß von jedem Beobachter an ſeiner Pendeluhr oder an ſeinem Chronometer beobachtet werden, als handelte es ſich um die Culmination eines Sterns, oder um irgend eine aſtronomiſche Erſcheinung, und wenn alsdann der Fehler und der Gang der Uhr an jedem Standorte gehörig in Rechnung gebracht ſind, ſo iſt dadurch die örtliche Zeit des Signales an jedem Standorte beſtimmt. Wenn nunmehr die Beobachter ihre Beobachtungen des Signales ſich einander mittheilen, ſo wird die Differenz ihrer örtlichen Zeiten, und alſo auch ihrer Längen, bekannt, weil beide das Signal (wegen des faſt momentanen Ueberganges des Lichtes) in demſelben abſoluten Augenblicke geſehen haben müſſen. In A ſoll z. B. das Signal um 5 Stunden 0 Min. 0 Sec. Sternzeit des Ortes A geſehen worden ſeyn, welche Beſtimmung man erlangt hat, indem man den Fehler und den Gang der Uhr in A für die Zeit in Rechnung gebracht hat, zu welcher das Signal daſelbſt an der Uhr beobachtet wurde. In B ſoll daſſelbe Signal um 5 Stunden 4 Min. 0 Sek. Sternzeit des Ortes B geſehen worden ſeyn, die auf ähnliche Weiſe aus der

von der Pendeluhr in B angezeigten Zeit nach Berückſichtigung ihres Fehlers und Ganges erhalten worden iſt. Es ergiebt ſich folglich als Differenz ihrer örtlichen Epochen 4 M. 0 S., und dieſes iſt auch die Differenz der Längen beider Orte in Zeit, oder 1°, 0′ 0″ im Stundenwinkel.

214) Die Genauigkeit der endlichen Beſtimmung kann noch dadurch erhöht werden, daß man mehrere Signale in beſtimmten Zwiſchenräumen giebt und beobachtet; alsdann wird jedes derſelben eine Vergleichung der Zeiten gewähren, und man kann ſich auf das mittlere Reſultat aller dieſer Vergleichungen mehr verlaſſen, als auf dasjenige einer einzelnen Vergleichung. Auf dieſe Art kann man den Fehler, der durch die Vergleichung der Uhren herbeigeführt wird, als ganz vernichtet betrachten.

215. Die Entfernungen, in welchen Signale ſichtbar gegeben werden können, ſind abhängig von der Beſchaffenheit des dazwiſchen liegenden Landes. Auf dem Meere kann man die Exploſion von Raketen leicht 40 oder 60 engliſche Meilen weit erkennen; und in gebirgigen Gegenden kann man die Flamme des in einem offenen Löffel entzündeten Schießpulvers auf noch weit größere Entfernungen ſehen, wenn dazu ein zweckmäßiger Ort gewählt wird. Der Zwiſchenraum zwiſchen den Beobachtungsorten kann auch dadurch größer angenommen werden, daß man die Signale nicht an einem derſelben, ſondern an einem zwiſchen beiden liegenden Punkte geben läßt; denn ſobald ſie nur von beiden Beobachtungsorten aus geſehen werden können, ſo iſt es ganz gleichgültig, wo ſie gegeben werden. Immer aber würde der Zwiſchenraum, den man auf dieſe Weiſe umfaſſen kann, ſehr beſchränkt, und das Mittel folglich von geringem Nutzen ſeyn, ohne die ſinnreiche Erfindung, durch welche es auf jede Entfernung ausgedehnt, und über jeden noch ſo ſchwierigen Landesſtrich fortgepflanzt werden kann.

216) Dieſe Erfindung beſteht darin, zwiſchen den äußerſten Standorten, deren Längendifferenz man ausmitteln will, und wo die örtlichen Zeiten beobachtet

werden, eine Kette zwiſchenliegender Standpunkte anzulegen, die abwechſelnd für die Signale und für die Beobachtungen beſtimmt ſind. Demgemäß mögen A und Z (Fig. 30.) die äußerſten Standorte ſeyn. Bei B werde ein Ort für Signale eingerichtet, wo man z. B. Raketen u. ſ. w. in beſtimmten Zwiſchenräumen ſteigen läßt. Bei C habe ein mit einem Chronometer verſehener Beobachter ſeinen Standpunkt. Bei D ſey ein anderer Ort für Signale; bei E ein anderer Beobachter mit einem Chronometer, und ſo fort, bis die ganze Linie nach dieſer Anordnung mit Stationen ſo beſetzt iſt, daß die Signale in B von A und von C aus, diejenigen in D von C und E aus, u. ſ. w. geſehen werden können. Iſt alles ſo geordnet, und ſind die Fehler und der Gang der Uhren in A und Z durch aſtronomiſche Beobachtungen ausgemittelt, ſo werde ein Signal in B gegeben, in A und C beobachtet, und an beiden Orten die Zeit notirt. So ergiebt ſich die Differenz zwiſchen der Pendeluhr in A und dem Chronometer in C. Nach einem kurzen Zwiſchenraume (z. B. nach 5 Minuten) werde ein Signal in D gegeben, und daſſelbe in C und E beobachtet. Dadurch wird die Differenz zwiſchen den Chronometern dieſer beiden Beobachtungsorte bekannt, und da die Differenz des erſtern Chronometers und der Pendeluhr in A bereits ausgemittelt iſt, ſo iſt deshalb auch die Differenz zwiſchen der Pendeluhr in A und dem Chronometer in E bekannt. Dieſes ſetzt indeſſen voraus, daß der Chronometer in C in dem Zeitraume zwiſchen den Signalen genau nach Sternzeit gegangen ſey, oder wenigſtens einen bekannten Gang beibehalten habe. Nun iſt dieſer Zeitraum abſichtlich ſo äußerſt kurz, damit kein Inſtrument, das nur auf einigen Werth Anſpruch macht, im Stande ſey, für die Dauer eines ſolchen Zeitraumes auch nur den geringſten Fehler zu erzeugen. Auf dieſe Art kann man annehmen, daß die von A nach C übergetragene Zeit, ohne Gewinn oder Verluſt (bis auf den etwaigen Beobachtungsfehler), nach E fortgepflanzt ſey. Auf ähnliche Weiſe wird durch das in F gegebene, und in E und Z beobachtete Signal die

nach E übergetragene Zeit weiter bis nach Z befördert, und man iſt ſo endlich im Stande, die Pendeluhren bei A und Z zu vergleichen. Das Verfahren kann ſo oft wiederholt werden, als es nöthig ſcheint, um durch einen mittleren Durchſchnitt von mehreren Reſultaten etwaige Fehler zu vernichten; und wenn auf der ganzen Linie die Standorte zahlreich ſind, ſo laſſen ſich, indem man eine Reihenfolge von Signalen unterhält, ſo daß jeder Beobachter abwechſelnd die ihm auf jeder Seite gegebenen notirt, (welche Anordnung leicht vorher durch Uebereinkunft getroffen werden kann), viele Vergleichungen anſtellen, die längs der ganzen Linie auf einmal fortlaufen, wodurch, außer der Zeiterſparniß, noch andere Vortheile gewonnen werden. *) Bei wichtigen Fällen wird dieſes Verfahren gewöhnlich mehrere Nächte nach einander wiederholt.

217) Statt der künſtlichen Signale kann man auch natürliche, wenn ſie hinlänglich beſtimmt für die Beobachtung ſtattfinden, eben ſo gut anwenden.

In einer heitern Nacht iſt die Zahl derjenigen beſondern Meteore, welche unter dem Namen der Sternſchnuppen beobachtet werden, gewöhnlich ſehr groß; und da ſie ſehr plötzlich erſcheinen und verſchwinden, auch wegen der großen Höhe, in welcher ſie der Erfahrung zufolge ſtattfinden, über ausgebreitete Strecken der Erdoberfläche ſichtbar ſind, ſo unterliegt es keinem Zweifel daß man ſich ihrer, nach vorausgegangener Uebereinkunft zwiſchen entfernten Beobachtern, ſie beobachten und notiren zu wollen, mit Nutzen bedienen könne.**)

218) Eine andere Art natürlicher Signale von noch weit größerer Ausdehnung und Allgemeinheit (indem

---

*) Eine vollſtändige Beſchreibung dieſes Verfahrens und der Art und Weiſe, wie man das vortheilhafteſte Reſultat aus einer Combination aller Beobachtungen erhält, findet man in einer Abhandlung über die Differenz der Längen von Greenwich und Paris, Philosophical Transactions 1826, von dem Verfaſſer dieſes Werkes.

**) Dieſen Vorſchlag hat zuerſt der verſtorbene Dr. Maskelyne gemacht.

man ſie über eine ganze Halbkugel der Erde zugleich ſehen kann) gewähren die Verfinſterungen der Jupiters-Trabanten, von denen wir ausführlicher handeln werden, ſobald wir an dieſe Himmelskörper kommen. Jede ſolche Verfinſterung iſt ein Ereigniß, das einen großen Vortheil hinſichtlich ſeiner Anwendbarkeit für den fraglichen Zweck gewährt, weil nämlich die Zeit des Eintrittes deſſelben an irgend einem beſtimmten Orte, z. B. in Greenwich, aus einer langen Reihe früherer Beobachtungen und darauf gegründeter Berechnungen vorausgeſagt werden kann, und weil dieſe Vorausſage hinlänglich genau und zuverläſſig iſt, um die Stelle einer entſprechenden Beobachtung zu vertreten, ſo daß alſo ein Beobachter an irgend einem andern Orte, der eine oder mehrere dieſer Verfinſterungen beobachtet und ihre örtliche Zeit ausgemittelt hat, ſtatt auf eine Mittheilung aus Greenwich zu warten, um zu erfahren, in welchem Augenblicke die Verfinſterung dort ſtattfand, ſich dagegen der vorausgeſagten Greenwicher Zeit bedienen, und ſo, gleich auf der Stelle, ſeine Länge beſtimmen kann. Dieſe Art, die Längen auszumitteln, iſt indeſſen, wie ſich nachher ergeben wird, keiner großen Genauigkeit fähig, und ſie ſollte nur gebraucht werden, wenn andere Methoden nicht angewendet werden können. Die Natur dieſer Beobachtungen iſt auch von der Art, daß ſie nicht auf dem Meere angeſtellt werden können, ſo daß ſie zwar dem Geographen nützlich ſind, aber der Schifffahrt nicht den geringſten Vortheil gewähren.

219) Aber Erſcheinungen, wie dieſe, kommen nur zu Zeiten vor; und es iſt alſo in den Zwiſchenzeiten, und wenn man von aller Communication mit irgend einem beſtimmten Orte abgeſchnitten iſt, ganz unerläßlich, ein Längenbeſtimmungsmittel zu beſitzen, auf welches nicht allein der Geograph, hinſichtlich einer Kenntniß der richtigen Lage wichtiger Punkte auf dem Lande in entfernten Gegenden, ſich verlaſſen, ſondern dem der Schiffer auch ſicher, in jedem Augenblicke ſeines gefahrvollen Laufes, ſein Leben und dasjenige ſeiner Gefährten, die Intereſſen ſeines Landes und das

Vermögen ſeiner Auftraggeber anvertrauen kann. Ein ſolches Mittel gewähren die Mondsbeobachtungen. Obgleich wir den Leſer noch nicht mit den Erſcheinungen der Bewegung des Mondes bekannt gemacht haben, ſo ſoll uns dieſes dennoch nicht abhalten, hier das Princip dieſer Methode der Mondsbeobachtungen zu erläutern. Es wird damit ſogar der Vortheil verbunden ſeyn, daß wir es ſo nur mit dem nackten Grundſatze zu thun haben, abgeſchieden von allen beſondern Schwierigkeiten, mit welchen die Mondstheorie behaftet iſt, die aber dem Grundſatze ihrer Anwendung auf das Problem der Längen, der ein ſehr einfacher iſt, in der That ganz fremd ſind.

220) Wenn ſich am Himmel eine mit einem Zifferblatt und mit Zeigern verſehene Uhr befände, die immer Greenwicher Zeit anzeigte, ſo würde die Länge jedes Standpunktes ſogleich beſtimmt ſeyn, wenn die örtliche Zeit bekannt wäre und mit dieſer Uhr verglichen würde. Nun ſind die Functionen des Zifferblattes und der Zeiger einer Uhr folgende: Das erſtere enthält eine Reihe von Zeichen, deren Lage bekannt iſt; die letzteren ſagen uns, indem ſie ſich vor dieſen Zeichen vorbei bewegen, vermöge des Ortes, den ſie in Bezug auf dieſelben einnehmen, welche Zeit es ſey, oder welche Zeit ſeit einem gewiſſen Augenblicke, wo der Zeiger an einer beſtimmten Stelle ſtand, verfloſſen ſey.

221) Bei einer Uhr ſind die Zeichen auf dem Zifferblatte rings auf dem Umfange eines Kreiſes gleichförmig vertheilt, deſſen Mittelpunkt derjenige iſt, um welchen ſich die Zeiger mit einer gleichförmigen Bewegung umdrehen. Es leuchtet indeſſen ein, daß wir eben ſo zuverläſſig, nur mit weit mehr Mühe, erfahren könnten, welche Zeit es ſey, wenn die Zeichen am Zifferblatte ungleichmäßig vertheilt wären, wenn die Zeiger excentriſch, und ihre Bewegung — nicht gleichförmig wäre, — ſobald uns nur

1) die genauen Zwiſchenräume auf dem Kreiſe bekannt wären, in welchen die Zeichen für Stunden und Minuten gezeichnet ſind; was der Fall ſeyn würde,

wenn wir ſie nach den Ergebniſſen vorausgegangener ſorgfältiger Meſſungen alle in eine Tabelle eingetragen hätten;

2) wenn uns der genaue Betrag und die Richtung der Excentricität des Bewegungsmittelpunktes der Zeiger bekannt wäre; und

3) wenn wir mit dem ganzen Mechanismus, der die Zeiger in Bewegung ſetzt, völlig vertraut und folglich im Stande wären, jeden Augenblick die Geſchwindigkeit ihrer Bewegung anzugeben und, ohne einen Fehler zu befürchten, zu berechnen, wie viel Zeit ſo und ſo viel Winkelbewegung entſprechen müſſe.

222) Die ſichtbare Oberfläche des geſtirnten Himmels iſt das Zifferblatt unſerer Uhr, die Sterne ſind die auf dem Umfange derſelben vertheilten feſten Zeichen, der Mond iſt der bewegliche Zeiger, welcher mit einer Bewegung, die, oberflächlich betrachtet, gleichförmig zu ſeyn ſcheint, die aber bei ſorgfältiger Unterſuchung keinesweges ſo gefunden wird, und die ſich nach erſtaunlich complicirten und im Reſultate ſehr verwickelten, obſchon dem Grundſatze nach wunderbar einfachen, mechaniſchen Geſetzen richtet, einen monatlichen Umlauf unter denſelben vollbringt, indem er augenſcheinlich theils vor manchen vorübergeht und ſie verbirgt, oder, wie man zu ſagen pflegt, ſie bedeckt, theils neben und zwiſchen andern ſich fortbewegt. Der Stand deſſelben unter ihnen kann nun, ſo lange er ſichtbar iſt, jeden Augenblick mittelſt eines Sextanten genau gemeſſen werden, gerade ſo, wie wir den Stand unſeres Uhrzeigers zwiſchen den Zeichen auf dem Zifferblatte der Uhr mit einem Zirkel meſſen, und daraus nach den bekannten und berechneten Geſetzen ſeiner Bewegung die Zeit herleiten können. Daß der Mond wirklich ſich ſo unter den Sternen fortbewegt, während die letztern in Bezug zu einander beſtändig dieſelbe relative Lage behalten, davon kann man ſich ſchon in wenigen Nächten oder ſelbſt Stunden überzeugen, und das iſt alles, was wir gegenwärtig bedürfen.

223) Es fehlt uns nur ein einziger Umſtand, um unſere Analogie vollſtändig zu machen. Statt daß ſich

die Zeiger unſerer Uhr ganz dicht am Zifferblatte bewegen, wollen wir annehmen, daß ſie beträchtlich von demſelben abſtehen. Wenn wir nun bei dem Betrachten derſelben unſer Auge nicht gerade in der Richtung ihrer Axe halten, ſo können wir dieſelben nicht richtig auf ihre gehörigen Orte am Zifferblatte projicirt erblicken. Und wenn uns dieſe Urſache optiſcher Ortsveränderung, dieſe Parallaxe, unbekannt wäre, oder wenn wir es verſäumten, ſie in Rechnung zu bringen, ſo könnten wir große Fehler bei Ableſung der Zeit begehen, indem wir den Zeiger auf das falſche Zeichen bezögen, oder ſeinen Abſtand von dem richtigen unrichtig ſchätzten. Berückſichtigten wir dagegen bei jedem Falle, wo wir Gelegenheit hätten, die Zeit zu beobachten, genau die Stellung des Auges, ſo würde es gar nicht ſchwer halten, den Einfluß dieſer Urſache ſcheinbarer Ortsveränderung mit aller Schärfe auszumitteln und in Rechnung zu bringen. So verhält es ſich nun genau in Bezug auf die ſcheinbare Bewegung des Mondes unter den Sternen. Der erſtere iſt, wie wir ſehen werden, der Erde verhältnißmäßig nahe, und die letzteren ſind unermeßlich weit von ihr entfernt; und da wir uns nicht im Mittelpunkte der Erde befinden, ſondern auf ihrer Oberfläche mit im Kreiſe herumgeführt werden und beſtändig den Ort verändern, ſo entſteht eine Parallaxe, welche den Mond ſcheinbar unter den Sternen verſchiebt, und die in Rechnung gebracht werden muß, ehe wir den wahren Ort beſtimmen können, den er einnehmen würde, wenn wir ihn aus dem Mittelpunkte der Erde ſähen.

224) Eine ſolche Uhr, wie wir ſie beſchrieben haben, möchte ohne Zweifel für eine ſehr ſchlechte gehalten werden; aber wäre es unſere einzige, und hiengen von einer vollkommenen Kenntniß der Zeit unberechenbare Intereſſen ab, ſo würden wir ſie mit Recht für ein köſtliches Beſitzthum halten, und keine Mühe ſparen, die Geſetze ihrer Bewegungen zu ſtudiren, oder die Mittel, ſie richtig abzuleſen, zu erleichtern. So verhält es ſich in dem aufgeſtellten Gleichniſſe mit der Mondstheorie, deren Zweck es iſt, Regelmäßigkeit in

die Anzeigen dieſer ſeltſam unregelmäßig gehenden Uhr zu bringen, damit wir lange zuvor und mit abſoluter Sicherheit vorher ſagen können, an welcher Stelle unter den Sternen der Mond zu jeder Stunde, Minute und Sekunde, an jedem Tage jedes Jahres, nach Greenwicher örtlicher Zeit, vom Mittelpunkte der Erde aus geſehen werden würde, und von jedem zugänglichen Punkte ihrer Oberfläche aus wirklich geſehen wird; und dieſes iſt für die Längenbeſtimmungen die Methode der Mondsbeobachtungen. Die Winkelabſtände des Mondes von allen den glänzenden und Hauptſternen, welche auf ſeinem Wege liegen, wie ſie vom Mittelpunkte der Erde aus geſehen werden würden, ſind in den unter Landescontrole erſcheinenden Almanachen mit der größten Sorgfalt und Schärfe berechnet und in Tabellen gebracht. Sobald nun ein Beobachter an irgend einem Orte der Erde zu Waſſer oder zu Lande, den wirklichen Abſtand des Mondes von einem dieſer Normalſterne mißt, (deren Orte am Himmel für dieſen Zweck mit der größten Genauigkeit beſtimmt ſind), ſo hat er damit auch in der That diejenige Vergleichung ſeiner örtlichen Zeit mit den örtlichen Zeiten jeder Sternwarte in der Welt angeſtellt, durch welche er in den Stand geſetzt wird, die Differenz der Länge ſeines Orts von einer oder von allen Sternwarten zu erfahren.

225) Die Breiten und Längen irgend einer Anzahl von Punkten auf der Oberfläche der Erde können durch die oben beſchriebenen Methoden ausgemittelt werden; und beſtimmt man auf dieſe Weiſe eine hinlängliche Zahl von Hauptpunkten, und füllt die Zwiſchenräume durch örtliche Vermeſſungen aus, ſo kann man Charten von Ländern conſtruiren, die Umriſſe von Feſtländern und Inſeln ausmitteln, den Lauf der Flüſſe und der Bergketten angeben, und großen und kleinen Städten ihre richtige Lage ertheilen. In der Praxis hat man es indeſſen einfacher und leichter gefunden, jedes beſondere Land in eine Reihe großer Dreiecke zu zerlegen, deren Winkel Standpuncte ſind, welche einer vom andern aus deutlich erkannt werden können. Von dieſen Dreiecken werden nur die Winkel mit dem Theodoliten ge-

meſſen, und außerdem noch eine einzige Seite eines einzigen Dreieckes, welche die Baſis heißt und mit aller Feinheit, die der Scharfſinn nur angeben, oder der größte Aufwand gebieten kann, gemeſſen wird. Dieſe Baſis iſt von mäßiger Länge, indem ſie ſelten über 6 oder 7 engliſche Meilen beträgt, und es wird dazu abſichtlich eine ganz horizontale Ebene gewählt, die auch ſonſt für die Zwecke der Meſſung ſich eignet. Die Länge derſelben zwiſchen den beiden Endpunkten (welche Pünktchen auf Gold= oder Platinplatten ſind, die in maſſive Steinblöcke eingelaſſen werden, und in allen Fällen mit gewiſſenhafter Sorgfalt, als höchſt wichtige Urkunden, erhalten werden, oder wenigſtens erhalten werden ſollten), wird dann mit der äußerſten Vorſicht, um die größte Schärfe*) zu erreichen, gemeſſen, und ihre Lage in Bezug auf den Meridian, wie auch die geographiſchen Lagen ihrer Endpunkte, genau beſtimmt.

226) Die Fig. 31. ſtellt eine ſolche Kette von Dreiecken dar. AB iſt die Baſis, O und C ſind Standpunkte, welche von den beiden Enden der Baſis geſehen werden können (und von denen der eine, O, wie wir annehmen wollen, eine Sternwarte des Landes ſeyn möge, mit welcher die Baſis ſo genau und unmittelbar als möglich, zu verbinden, eine Hauptſache iſt); D, E, F, G, H, K ſind andere Standpunkte, oder ſonſt merkwürdige Punkte im Lande, durch deren Verbindung die ganze Oberfläche deſſelben gleichſam mit einem Netze von Dreiecken überzogen werden kann. Nun leuchtet es ein, daß, da die Winkel des Dreieckes ABC beobachtet ſind, und eine ſeiner Seiten AB gemeſſen iſt, die anderen beiden Seiten AC, BC nach den Regeln der Trigonometrie berechnet werden können; und ſo wird jede der Seiten AC und BC wiederum eine Baſis, welche als die bekannte Seite eines andern Dreiecks betrachtet werden kann. Sind z. B. die Winkel der Dreiecke ACG

*) Der größte mögliche Fehler in der ireländiſchen Baſis von 7 bis 8 engliſchen Meilen bei Londonderry ſoll nicht über zwei Zoll betragen.

und BCF durch Beobachtung bekannt, und die Seiten AC und BC ebenfalls, ſo laſſen ſich daraus die Längen AG und CG, BF und CF berechnen. Sind nun CG und CF bekannt, und der eingeſchloſſene Winkel GCF ebenfalls, ſo kann GF berechnet werden, u. ſ. w. Auf dieſe Weiſe können alle Standpunkte genau beſtimmt und eingetragen werden, und da man dieſes Verfahren bis zu jeder Ausdehnung fortſetzen kann, ſo läßt ſich auf dieſe Art eine Charte des ganzen Landes conſtruiren, und mit jedem beliebigen Detail ausfüllen.

227) Ueber dieſes Verfahren haben wir noch zwei wichtige Bemerkungen zu machen. Die erſte iſt diejenige, daß man in der Auswahl der Standpunkte ſorgfältig ſeyn muß, um Dreiecke zu bekommen, bei denen keine ſehr große Ungleichheit ihrer Winkel ſtatt findet. Das Dreieck KBF z. B. würde ein ſehr unzweckmäßiges ſeyn um die Lage von F durch Beobachtungen von B und K aus zu beſtimmen, weil der Winkel F ſehr ſpitz iſt, und ein kleiner Fehler im Winkel K einen großen in der Lage von F auf der Linie BF zur Folge haben würde. Dergleichen unpaſſende Dreiecke muß man deshalb vermeiden. Wird aber hierauf Rückſicht genommen, ſo wird die Genauigkeit der Beſtimmung der berechneten Seiten nicht weit hinter derjenigen zurückbleiben, die man, wenn es ausführbar wäre, durch wirkliche Meſſung erlangen würde; und je weiter wir uns deshalb von der Baſis, als einem Mittelpunkte, auf allen Seiten entfernen, deſto leichter wird es angehen, die Seiten weit größerer Dreiecke, wie z. B. GF, GH, HK u. ſ. w. als Baſen zu benutzen. Auf dieſe Weiſe wird der nächſte Schritt der Operation ſchon nach einem weit größern Maaßſtaabe ausgeführt werden, und weit größere Zwiſchenräume umfaſſen, als es (aus dem obigen Grunde) in der unmittelbaren Nähe der Baſis mit Sicherheit hätte geſchehen können. Solchergeſtalt wird es leicht, die ganze Oberfläche eines Landes in große Dreiecke zu zerlegen, von denen eine Seite (je nach der Beſchaffenheit der Oberfläche) 30 bis 100 engliſche Meilen mißt; und ſind dieſelben einmal genau beſtimmt, ſo können ſie nachher durch eine zweite Reihe unterge-

ordneter Operationen in kleinere zerlegt, und dieſe wiederum in noch kleinere zertheilt werden, bis die endliche Ausfüllung die Grenzen perſönlicher Vermeſſung und Zeichnung erreicht hat, und bis eine Charte von jedem verlangten Grade der Ausführlichkeit vollendet iſt.

228) Die nächſte Bemerkung, welche wir zu machen haben, iſt die, daß alle in Frage ſtehenden Dreiecke, ſtreng genommen, keine ebenen, ſondern ſphäriſche ſind, indem ſie auf der Oberfläche einer Kugel, oder vielmehr, um uns richtiger auszudrücken, eines Ellipſoides liegen. Bei ſehr kleinen Dreiecken, wo die Seiten nicht über 6 oder 7 engliſche Meilen betragen, kann man dieſes vernachläſſigen, indem die Differenz unmerklich iſt; aber bei größeren muß dieſer Umſtand in Berückſichtigung gezogen werden.

Da jeder Gegenſtand, den man benutzt, um das Fernrohr eines Theodoliten auf ihn zu richten, eine gewiſſe Elevation nicht allein über dem Erdboden, ſondern auch über dem Meeresſpiegel hat, und da ferner dieſe Elevationen bei jedem Gegenſtande verſchieden ſind, ſo leuchtet es von ſelbſt ein, daß eine Reduction aller gemeſſenen Winkel auf den Horizont ſich als nothwendig darſtellen müſſe. Vermöge der Conſtruction des Theodoliten (Art. 155), der eigentlich weiter nichts, als ein Höhen- und Azimuthalinſtrument iſt, wird aber dieſe Reduction gerade durch das Ableſen der Horizontalwinkel in der That ſchon gemacht. Es ſey E (Fig. 32.) der Mittelpunkt der Erde; A, B, C die Orte auf ihrer als ſphäriſch betrachteten Oberfläche, auf welche drei Standpunkte A, P, Q, in einem Lande durch die Radien EA, EBP, ECQ bezogen werden. Iſt ein Theodolit bei A aufgeſtellt, ſo wird die Axe ſeines Horizontalkreiſes gegen E gerichtet ſeyn, wofern er richtig aufgeſtellt worden iſt, und ſeine Ebene wird bei A eine Tangente der Kugel ſeyn, welche die Radien EBP, ECQ bei M und bei N über der ſphäriſchen Oberfläche ſchneidet. Das Fernrohr des Theodoliten wird zwar ſucceſſiv nach P und nach Q gerichtet; aber die Ableſungen an ſeinem Azimuthalkreiſe geben nicht den Winkel PAQ zwiſchen den Richtungen des Fernrohres, oder zwiſchen den Objecten

P und Q, wie er von A aus geſehen wird, ſondern den Azimuthalwinkel MAN, welcher das Maaß des Winkels A des ſphäriſchen Dreieckes BAC iſt. Daraus entſteht der bemerkenswerthe Umſtand, daß die Summe der drei beobachteten Winkel eines großen Dreieckes bei geodätiſchen Operationen immer etwas größer als 180° gefunden wird. Wäre die Oberfläche der Erde eine Ebene, ſo müßte dieſe Summe genau 180° betragen; und dieſer Ueberſchuß, welcher der ſphäriſche Exceß genannt wird, iſt keineswegs ein Beweis von Unrichtigkeit der Arbeit, ſondern vielmehr eine weſentliche Bedingung der Genauigkeit derſelben, und er gewährt zu gleicher Zeit einen anderen handgreiflichen Beweis von der ſphäriſchen Geſtalt der Erde.

229) Die richtige Art alſo, ſich eine trigonometriſche Aufnahme vorzuſtellen, wenn die ſphäriſche Geſtalt der Erde dabei berückſichtigt wird, iſt diejenige, das Netz von Dreiecken, welches über das Land gezogen iſt, als die Grundfläche eines Vereines von Pyramiden zu betrachten, die gegen den Mittelpunkt der Erde convergiren. Der Theodolit giebt uns die richtigen Maaße der Winkel, welche von den Flächen dieſer Pyramyden eingeſchloſſen werden; und die Oberfläche einer imaginären Kugel durchſchneidet dieſelben am Meeresſpiegel zu einem Verein ſphäriſcher Dreiecke, über deren Winkeln, in den verlängerten Radien, die wirklichen Beobachtungsſtandpunkte, vermöge der Unebenheiten der Oberfläche durch Berg und Thal, erhöht liegen. Der mühſamen Rechnungen der ſphäriſchen Trigonometrie, die nach dieſen Betrachtungen für die Reductionen einer Vermeſſung nothwendig zu ſeyn ſcheinen, iſt man in der Praxis durch eine ſehr einfache und leichte Regel überhoben, nämlich durch die ſogenannte Regel für den ſphäriſchen Exceß, die man in den meiſten Werken über Trigonometrie findet. Wollten wir die elliptiſche Geſtalt der Erde berückſichtigen, ſo könnte es auch durch geeignete Berechnungsarten geſchehen, die aber zu verwickelt ſind, als daß wir in einem Werke, wie das gegenwärtige, dabei verweilen könnten.

230) Welche Berechnungsweiſe wir übrigens anwenden mögen, ſo wird das Reſultat immer eine Reduction aller Dreiecke auf den Meeresſpiegel, und die aus der Meſſung hervorgehende Beſtimmung der geographiſchen Breite und Länge jedes beobachteten Punktes ſeyn. So ſind wir endlich im Stande, Charten von Ländern zu entwerfen, die Umriſſe der Feſtländer und Inſeln, den Lauf der Flüſſe, das Streichen der Gebirgszüge und die Orte ihrer höchſten Gipfel zu verzeichnen, ſo wie auch alle diejenigen Details, über welche, da ſie mehr zur phyſiſchen und ſtatiſtiſchen, als zur aſtronomiſchen Geographie gehören, wir uns hier nicht ausführlicher verbreiten wollen. Einige Worte werden indeſſen noch hinſichtlich der Charten, deren man ſich in der Aſtronomie, wie in der Geographie bedient, nöthig ſeyn.

231) Eine Charte iſt weiter nichts, als eine Darſtellung eines Theiles der Kugeloberfläche auf einer Ebene, auf welcher die anzugebenden Einzelnheiten verzeichnet ſind, mögen dieſe nun fortlaufende Umriſſe oder Punkte ſeyn. Nun kann eine ſphäriſche Oberfläche*) auf keine Weiſe in eine Ebene ausgebreitet, oder auf dieſelbe projicirt werden, ohne ungebührliche Erweiterung oder Zuſammenziehung mancher Theile im Vergleich zu anderen; und da das angenommene Syſtem bei dieſer Ausbreitung oder Projection der Kugelfläche entſcheidet, welche Theile erweitert oder beziehungsweiſe zuſammengezogen werden, und in welchen Verhältniſſen dieſes geſchieht, ſo folgt daraus, daß, wenn große Theile der Kugel chartirt werden ſollen, eine große Verſchiedenheit in den Darſtellungen derſelben, je nach dem angewendeten Syſteme der Projection ſtattfinden könne.

232) Die Projectionen, deren man ſich hauptſächlich bei Charten bedient, ſind die orthographiſche, die ſtereographiſche und die von Mercator eingeführte. Bei der orthographiſchen Projection

*) Wir laſſen hier die elliptiſche Geſtalt der Erde unberückſichtigt, die für einen Zweck, wie das Entwerfen einer Charte, viel zu geringfügig iſt, um irgend einen weſentlichen Einfluß zu haben.

wird jeder Punkt der Halbkugel auf die Diametralebene oder Baſis derſelben mittelſt eines auf ſie gefällten Perpendikels bezogen, ſo daß die Darſtellung der Halbkugel, wenn man ſie auf dieſe Weiſe auf ihrer Baſis chartirt hat, dieſelbe iſt, wie ſie einem Auge in unendlicher Entfernung von ihr wirklich erſcheinen würde. Aus Fig. 33. ergiebt ſich, daß bei dieſer Projection blos die in der Mitte liegenden Theile nach ihren wahren Geſtalten dargeſtellt werden, während alle von der Mitte entfernteren immer mehr und mehr verzerrt und zuſammengedrängt werden, je mehr man ſich dem Rande der Charte nähert. Aus dieſer Urſache iſt die orthographiſche Projection, obſchon ſehr gut für kleine Theile der Kugel, von geringem Nutzen für große.

233) Die ſtereographiſche Projection iſt großentheils von dieſem Mangel frei. Um uns einen Begriff von dieſer Projection zu machen, müſſen wir uns ein Auge in E (Fig. 34.), dem einen Ende eines Durchmeſſers ECB der Kugel, denken, ſo daß es die innere concave Oberfläche der Kugel erblickt, von welcher jeder Punkt, wie z. B. P, auf die Diametralebene ADF, welche ſenkrecht zu EB iſt, mittelſt der Geſichtslinie PME bezogen wird. Die ſtereographiſche Projection einer Kugel iſt alſo eine wahre perſpectiviſche Darſtellung ihrer concaven Oberfläche, auf einer Diametralebene: und als eine ſolche beſitzt ſie einige beſonders ſchöne geometriſche Eigenſchaften, von denen wir eine oder zwei der hauptſächlichſten mittheilen wollen.

234) Zuerſt alſo werden alle Kreiſe an der Kugel in der Projection wieder durch Kreiſe dargeſtellt. So iſt der Kreis X in x projicirt. Nur größte Kreiſe, welche durch den Scheitelpunkt B laufen, werden als gerade Linien dargeſtellt, die durch den Mittelpunkt C gehen. So iſt z. B. BPA in CA projicirt. Sodann wird jedes ſehr kleine Dreieck an der Kugel, wie GHK, durch ein ähnliches Dreieck ghk in der Projection dargeſtellt. Dieſes iſt eine ſehr ſchätzbare Eigenſchaft, indem ſie der Charte eine allgemeine Aehnlichkeit ihres Ausſehens mit der Wirklichkeit, in allen ihren Theilen ſichert, und uns in den Stand ſetzt, wenigſtens eine

Hemiſphäre in einer einzigen Charte, ohne alle gewaltſame Verzerrung der wirklichen Configurationen auf der Oberfläche zu projiciren. Während bei der orthographiſchen Projection die am Rande der Halbkugel liegenden Theile ungebührlich zuſammengedrängt ſind, werden bei der ſtereographiſchen Projection ihre projicirten Dimenſionen im Gegentheil immer mehr um etwas vergrößert, je weiter ſie vom Mittelpunkte entfernt liegen.

235) Dieſe beiden Projectionen können als natürliche betrachtet werden, inſofern ſie in der That perſpectiviſche Darſtellungen der Kugelfläche auf einer Ebene ſind. Mercator's Projection iſt dagegen eine ganz und gar künſtliche, indem ſie die Kugel nicht ſo darſtellt, wie ſie von irgend einem beſtimmten Punkte aus geſehen werden kann, ſondern wie ſie geſehen werden würde von einem Auge, welches ſucceſſiv über jeden Theil derſelben fortſchreitet. Bei dieſer Art der Projection ſtehen die Grade der Länge und die der Breite immer zu einander in dem gehörigen Verhältniſſe; den Aequator denkt man ſich in eine gerade Linie ausgebreitet, und die Meridiane ſind gerade Linien, welche den Aequator rechtwinklig durchſchneiden, wie in Fig. 35. Der allgemeine Character von Charten nach dieſer Projection iſt dem nicht ſehr unähnlich, was man erhalten würde, wenn man jeden Punkt auf der Kugel auf einen ſie umſchreibenden Cylinder durch vom Mittelpunkte aus gezogene Linien bezöge, und dann den Cylinder zu einer Ebene abrollte. Gleich der ſtereographiſchen Projection giebt ſie, was die Form anlangt, eine getreue Darſtellung jedes beſondern kleinen Theiles, hinſichtlich des Maaßſtabes aber iſt ſie in ihren verſchiedenen Gegenden ſehr veränderlich; die Polargegenden insbeſondere werden außerordentlich vergrößert, und die ganze Charte, ſelbſt von einer einzigen Hemiſphäre, läßt ſich nicht einmal innerhalb endlicher Grenzen zuſammenfaſſen.

236) Wir können uns, wie ſich von ſelbſt verſteht, hier nicht in weitere geographiſche Einzelnheiten einlaſſen; aber ein Reſultat der Entdeckungen auf dem Meere im Großen iſt, ſo zu ſagen, großartig genug, um eine Erwähnung zu verdienen, um ſo mehr, da es auch einen

aſtronomiſchen Character annimmt. Wenn man die Feſt= länder und die Meere auf eine Kugel zeichnet (und ſeit der Entdeckung Auſtraliens haben wir die Ueberzeugung, daß keine ſehr ausgebreiteten Landſtriche mehr unbekannt ſind, außer vielleicht am Südpole), ſo finden wir, daß es möglich iſt, die Kugel ſo in zwei Halbkugeln zu theilen, daß die eine faſt alles Land, und die andere faſt alles Waſſer enthält. Es iſt ferner eine Thatſache, die für den Briten von keinem geringen Intereſſe ſeyn kann, und die, in Verbindung mit unſerer Inſellage an der großen Straße des Verkehrs der Nationen, dem atlantiſchen Meere, unſere commerzielle Wichtigkeit nicht wenig erläutert, daß nämlich London ziemlich den Mit= telpunkt der terreſtriſchen Hemiſphäre einnimmt. In aſtronomiſcher Hinſicht iſt dieſer Umſtand der Theilbar= keit der Erdkugel in eine oceaniſche und in eine terreſt= riſche Hemiſphäre von Wichtigkeit, indem daraus der Mangel abſoluter Gleichheit in der Dichtigkeit des feſten Stoffes der beiden Hemiſphären hervorgeht. Betrachtet man die ganze Maſſe von Land und Waſſer als in einem Zuſtande des Gleichgewichtes, ſo leuchtet ein, daß die Hälfte, welche die Vorragung bildet, nothwendig gewiſſermaßen ſchwimmend ſeyn müſſe, nicht daß wir behaupten wollen, ſie ſey leichter als Waſſer, ſondern nur, mit der ganzen Kugel verglichen, in einem ge= ringern Grade ſchwerer, als dieſe Flüſſigkeit. Wir überlaſſen es den Geologen, aus dieſen Prämiſſen ihre eigenen Folgerungen zu ziehen (und ſie ſcheinen uns einleuchtend genug zu ſeyn) in Bezug auf die innere Beſchaffenheit der Erdkugel, und auf die unmittelbare Natur der Kräfte, welche die Feſtländer derſelben in ihrer gegenwärtigen Höhe erhalten; aber bei künftigen Unterſuchungen, welche zum Zweck haben, die örtlichen Abweichungen der Intenſität der Schwere von dem, was die Hypotheſe einer vollkommen elliptiſchen Geſtalt der Erde erheiſcht, zu erklären, dürfen wir dieſen Punkt, als eine allgemeine Thatſache, nicht aus dem Auge ver= lieren.

237) Unſere Kenntniß der Oberfläche unſerer Erd= kugel iſt unvollſtändig, ſobald ſie nicht auch die Höhen

aller Landestheile über dem Meeresſpiegel, und die Depreſſion des Meeresbettes unter die allgemeine Oberfläche, ſo weit ſich das Meer nur erſtreckt, mit umfaßt. Letzteres läßt ſich, obſchon mit Schwierigkeit und langſam, durch directes Sondiren ausmitteln; und erſteres durch zwei beſondere Methoden. Die eine beſteht nämlich in trigonometriſcher Meſſung der Höhendifferenzen aller Standpunkte bei einer Länderaufnahme; die andere dagegen in der Anwendung des Barometers, deſſen Princip eigentlich ganz identiſch mit demjenigen des Senkbleies iſt. In beiden Fällen meſſen wir den Abſtand des Punktes, deſſen Niveau wir in Bezug auf die Oberfläche eines im Gleichgewichte befindlichen Oceans zu erfahren wünſchen; nur iſt es in dem einen Falle ein Waſſerocean, und in dem andern ein Luftocean. In dem einen Falle iſt unſer Senkblei ein wirkliches und fühlbares, in dem andern ein imaginäres, das mittelſt der Länge der Queckſilberſäule gemeſſen wird, welcher die darüber liegende Luft das Gleichgewicht zu halten vermag.

238) Nehmen wir an, daß die Erde und der Ocean ſtatt der Luft, mit Oel bedeckt wären, und daß das menſchliche Leben unter ſolchen Umſtänden beſtehen könnte, ABCDE (Fig. 36.) ſey ein Continent, wovon der Theil ABC aus dem Waſſer hervorragt, aber mit Oel bedeckt iſt, welches auch auf dem ganzen Ocean mit gleichförmiger Tiefe ſchwimmt; alsdann brauchten wir nur, wenn wir die Tiefe irgend eines Punktes D unter dem Meeresſpiegel erfahren wollten, ein Senkblei von F aus niederzulaſſen. Wünſchen wir aber die Höhe von B über demſelben Spiegel zu erfahren, ſo brauchen wir blos einen Schwimmer von B aus auf die Oberfläche des Oeles emporſteigen zu laſſen; und haben wir daſſelbe bei C, einem Punkte am Meeresſpiegel gethan, ſo giebt die Differenz der beiden Schwimmerſchnuren die fragliche Höhe.

239) Obgleich nun die Atmoſphäre ſich vom Oele darin unterſcheidet, daß ſie nicht eine eben ſo beſtimmte poſitive Oberfläche hat, und daß man nicht einen Schwimmer aufſteigen laſſen kann, der für einen ſolchen Zweck angemeſſen wäre, ſo beſitzt ſie doch alle Eigen-

ſchaften einer Flüſſigkeit, welche für den beabſichtigten Zweck in der That weſentlich ſind; und dieſe beſtehen beſonders darin, daß, über die ganze Oberfläche der Erdkugel ihre Schichten von gleicher Dichtigkeit der Oberfläche des Gleichgewichts, oder derjenigen, welche die Oberfläche des Meeres bilden würde, wenn man ſie unter die Feſtländer verlängerte, parallel ſind, und daß deshalb jede Schicht alle Charactere einer beſtimmten Oberfläche beſitzt, von welcher aus man meſſen könnte, ſobald man nur im Stande wäre, ſie beſtimmt anzugeben und zu identificiren. Nun ſagt uns die Höhe, in welcher auf irgend einem Standpunkte B das Queckſilber im Barometer gehalten wird, mit einemmale, wie viel von der Atmoſphäre über B lagert, oder mit andern Worten, in welcher Schicht der allgemeinen Atmoſphäre (angezeigt durch ihre Dichtigkeit) der Standort B liegt. Nach mechaniſchen Grundſätzen läßt ſich daraus endlich folgern, in welcher Höhe über dem Meeresſpiegel dieſer Grad der Dichtigkeit, rings um die ganze Oberfläche der Erde, zu finden iſt. Dieſes iſt der Grundſatz der Anwendung des Barometers auf die Meſſung der Höhen. In Bezug auf Details verweiſen wir den Leſer auf andere Werke. *)

240) Sind wir einmal im Beſitze einer Kenntniß der Höhen von Standpunkten über dem Meeresſpiegel, ſo können wir alle Standpunkte von derſelben Höhe durch Niveaulinien verbinden, von denen die niedrigſte der Umriß der Meeresküſte ſeyn wird; und die übrigen werden die ſucceſſiven Küſtenlinien bezeichnen, die ſtattfinden würden, wenn das Meer durch regelmäßiges und gleiches Steigen ſeines Niveaus auf der ganzen Erdkugel ſo lange gehoben würde, bis die höchſten Berge unter Waſſer ſtänden. Die Gründe der Thäler und die Rücken der Hügel beſtimmen ſich durch ihre Eigenſchaft, die

*) Biot, Astronomie Physique, Vol. III. In Betreff der Tafeln ſehe man das eben genannte Werk Biot's nach, auch die Tafeln von Oltmanns, welche jährlich im Annuaire des franzöſiſchen Längenbureaus erſcheinen, und ferner Baily's Collection of Astronomical Tables and Formulae.

Höhenlinien unter einem rechten Winkel zu durchſchneiden und, indem ſie dieſer Bedingung unterliegen, beziehungsweiſe die kürzeſten und längſten Wege zu bezeichnen, welche von ihrem äußerſten Punkte bis zum Meere ſtattfinden. Die erſteren beſtimmen die Waſſerzüge eines Landes, die letzteren theilen es in trocken liegende Flächen; und ſo entſtehen natürliche Diſtrikte von ganz unvertilgbarem Character, von welchen die Vertheilung, die Grenzen und die Eigenthümlichkeiten der menſchlichen Vereine großentheils abhängig ſind.

Viertes Capitel.

Uranographie.

Verfertigung von Himmelscharten und Himmelskugeln nach den Beobachtungen der geraden Aufſteigung und der Abweichung der Sterne. — Eintheilung der Sterne in Fix- und Wandelſterne. — Von den Sternbildern. — Natürliche Abtheilungen des Himmels. — Die Milchſtraße. — Der Thierkreis. — Die Ekliptik. — Längen und Breiten der Sterne. — Vorrückung der Nachtgleichen. — Schwankung der Erdaxe. — Abirrung des Lichtes. — Einige uranographiſche Probleme.

241) Die Beſtimmung der relativen Lage der Sterne am Himmel und die Verfertigung von Himmelscharten und Himmelskugeln, die ihre gegenſeitigen Stellungen richtig angeben, wie auch die Verfertigung von Katalogen, welche genauere numeriſche Nachweiſungen über den Ort eines jeden Sternes enthalten, iſt nicht nur einfacher, ſondern auch weniger mühſam, als die Aufgabe, Charten über die Oberfläche der Erde anzufertigen, und dieſelbe zu vermeſſen. Jeder Stern in dem großen Sternbilde, welches wir über uns ſich umdrehen ſehen, macht, ſo zu ſagen, einen Himmels-Standpunkt aus; und unter

dieſen Standpunkten können wir, wie auf der Erde, eine Triangulation anſtellen, indem wir mit geeigneten Inſtrumenten ihre Winkelabſtände von einander meſſen, welche, nachdem ſie wegen der Wirkung der Strahlenbrechung corrigirt ſind, alsdann ſogleich auf Charten verzeichnet werden können, wie wir die Städte und Dörfer eines Landes auf Charten einzutragen pflegen. Und dieſes kann geſchehen, ohne daß wir unſern Ort verändern, wenigſtens bei allen denjenigen Sternen, die über unſerm Horizonte aufgehen.

242) Auf dieſe Weiſe ließe ſich ohne Zweifel große Genauigkeit erreichen und man könnte treffliche Himmelscharten verfertigen. Aber es giebt ein viel einfacheres und leichteres Verfahren, das zugleich auch ein weit genaueres iſt, indem wir nämlich die Umdrehung der Erde um ihre Axe benutzen, und dadurch, daß wir den Durchgang eines jeden Himmelskörpers durch unſern Meridian beobachten, denſelben ganz für ſich und unabhängig auf den Aequinoctialkreis beziehen, und auf dieſe Weiſe ſeinen Ort an der Oberfläche einer imaginären Kugel beſtimmen, die man ſich ſo vorſtellen kann, als drehe ſie ſich, mit dem Himmelskörper um, und als ſei letzterer auf dieſelbe projicirt.

243) Die gerade Aufſteigung und Abweichung eines Punktes am Himmel entſpricht der Länge und Breite eines Standortes auf der Erde; und der Ort eines Sternes an der Himmelskugel iſt beſtimmt, wenn die erſtgenannten Elemente bekannt ſind, gerade ſo, wie die Lage einer Stadt auf der Landcharte, wenn man die zuletzt genannten weiß. Die großen Vortheile, welche die Methode der Meridianbeobachtungen vor der Triangulation von Stern zu Stern voraus hat, ſind:

1) Daß dabei jeder Stern in demjenigen Punkte ſeiner täglichen Bahn beobachtet wird, wo man ihn am beſten ſehen kann, und wo ſein Ort am wenigſten durch die Strahlenbrechung verändert wird.

2) Daß die erforderlichen Inſtrumente (das Mittagsfernrohr und der Mauerkreis) die einfachſten und unter allen von den Aſtronomen gebrauchten Inſtrumenten am

wenigſten einem Fehler oder einer Veränderlichkeit unterworfen ſind.

3) Daß alle Beobachtungen ſyſtematiſch, in regelmäßiger Aufeinanderfolge und mit gleichen Vortheilen, angeſtellt werden können, indem hier nicht von vortheilhaften oder unvortheilhaften Dreiecken u. ſ. w. die Rede ſeyn kann. Und endlich

4) Daß bei dieſem Verfahren gerade diejenigen Quantitäten, die man ſonſt erſt durch lange und mühſame Operationen der ſphäriſchen Trigonometrie zu berechnen hat, und die zur Verfertigung eines Sternverzeichniſſes weſentlich nothwendig ſind, durch die unmittelbare Meſſung gefunden werden. Es braucht deshalb kaum bemerkt zu werden, daß dieſes das von den Aſtronomen angewendete Verfahren iſt.

244) Um die gerade Aufſteigung eines Sternes zu beſtimmen, iſt nichts weiter erforderlich, als den Augenblick ſeiner Culmination mittelſt eines Mittagsfernrohres an einer Uhr zu beobachten, welche genau nach Sternzeit regulirt iſt, oder auf dieſelbe durch gehörige Anbringung ihres Fehlers und Ganges reducirt wird. Den Gang der Uhr kann man ausmitteln durch wiederholte Beobachtungen deſſelben Sternes bei mehrern auf einander folgenden Culminationen. Um aber den Fehler zu erfahren, muß man den Nachtgleichenpunkt, oder den Anfangspunkt kennen, von welchem aus alle geraden Aufſteigungen am Himmel gezählt werden, ſo wie man auch die Längen auf der Erde von einem erſten Meridiane an rechnet.

245) Die Natur dieſes Punktes ſoll ſogleich erklärt werden: aber für die Zwecke der Uranographie, inſoweit ſie nur die wirklichen Stellungen der Sterne unter ſich betreffen, iſt eine Kenntniß des Nachtgleichenpunktes nicht erforderlich. Die Wahl des Nachtgleichenpunktes zu einem Nullpunkte der geraden Aufſteigungen iſt ganz und gar eine Sache der Kunſt, und beruht blos auf Uebereinkommen; ſo wie man auf der Erde irgend einen Standpunkt, z. B. die Sternwarte eines Landes, als Anfang der Längen wählen kann, ſo kann man auch in der Uranographie irgend einen glänzenden Stern als Anfangs-

punkt wählen, von welchem an die Stundenwinkel gerechnet werden, und in Bezug auf welchen durch bloße Beobachtung der Differenzen oder Zwiſchenräume der Zeit, die Lage aller andern abgeleitet werden kann. In der Wirklichkeit werden dieſe Zwiſchenräume von gewiſſen kleinen Ungleichheitsurſachen afficirt, die mit in Rechnung gebracht werden müſſen, und an ihrem gehörigen Orte erklärt werden ſollen.

246) Die Abweichungen der Sterne lernt man kennen:

1) durch Beobachtung ihrer Meridianhöhen mit dem Mauerkreiſe, oder mit anderen zweckmäßigen Inſtrumenten. Dieß erheiſcht eine Kenntniß der geographiſchen Breite des Beobachtungsortes, die wiederum nur allein durch cöleſtiſche Beobachtungen erhalten werden kann.

2) Und noch unmittelbarer durch Beobachtung ihrer Polarabſtände am Mauerkreiſe, wie im Art. 136. erklärt wurde, wobei man von irgend einer vorausgehenden Beſtimmung der Breite des Beobachtungsortes unabhängig iſt; aber auch in dieſem Falle giebt die Beobachtung nicht direct und unmittelbar die richtigen Abweichungen. Die Beobachtungen müſſen zuerſt wegen der Strahlenbrechung und außerdem noch wegen der kleinen Ungleichheitsurſachen corrigirt werden, deren ſchon vorhin bei den geraden Aufſteigungen erwähnt worden iſt.

247) Auf dieſe Weiſe kann man nun die Orte aller Sterne gegen einander beſtimmen, und ſowohl Himmelscharten als Himmelskugeln verfertigen. Nun entſteht hier eine ſehr wichtige Frage. Wie weit ſind dieſe Orte permanent? Behalten dieſe Sterne und die größeren Himmelskörper immer eine unveränderliche Verbindung und Beziehung ihres Ortes zu einander, gleichſam als ob ſie einen Theil eines feſten, obſchon unſichtbaren Firmamentes bildeten, und behalten ſie, gleich den großen natürlichen Landgrenzen auf der Erde, unveränderlich dieſelben Abſtände und dieſelbe Lage gegen einander? Wenn dieſes der Fall wäre, ſo könnten wir uns keine vernünftigere Vorſtellung vom Univerſum machen, als daß ſich die Erde im Mittelpunkte deſſelben in abſoluter Ruhe befände, daß ſich eine hohle Kryſtallkugel um die-

ſelbe drehete, und Sonne, Mond und Sterne bei ihrer täglichen Bewegung mit herumführte. Wäre es aber nicht der Fall, ſo müßten wir alle ſolche Gedanken aufgeben, und ganz ſpeciell in die individuelle Natur jedes Himmelskörpers mit der Abſicht eindringen, ſowohl die Geſetze ſeiner eigenthümlichen Bewegungen zu entdecken, als auch, ob irgend eine, und zwar welche, Verbindung zwiſchen ihnen beſtehe.

248) Dieſes iſt indeſſen ſo wenig der Fall, daß ganz oberflächliche Beobachtungen hinreichend ſind, um zu zeigen, daß wenigſtens manche Himmelskörper, und zwar gerade die glänzendſten, unter den übrigen beſtändig ihren Ort verändern. Beim Monde z. B. geſchieht dieſes ſo raſch und auffallend, daß die Veränderung ſeiner Lage in Bezug auf ſolche glänzende Sterne, die zufällig in ſeiner Nähe ſind, in einer ſchönen Nacht ſchon nach einigen Stunden bemerkbar wird; und wenn man zwei Nächte nach einander darauf Acht giebt, ſo muß dieſe Veränderung ſelbſt dem ſorgloſeſten Beobachter auffallend ſeyn. Auch bei der Sonne findet eine beſtändige und raſche Veränderung ihres Ortes unter den Sternen ſtatt, obſchon man ſie, weil die Sterne dem unbewaffneten Auge den Tag über unſichtbar ſind, nicht ſo leicht erkennen kann, und entweder, um ſie zu meſſen, Fernröhre und Winkelinſtrumente anwenden, oder längere Zeit hindurch die Beobachtung fortſetzen muß, um ſich davon zu überzeugen. Man braucht indeſſen ſich nur daran zu erinnern, daß ſie im Sommer eine größere Meridianhöhe als im Winter hat, und den Umſtand zu berückſichtigen, daß die Sterne, welche des Nachts ſichtbar werden, mit der Jahreszeit wechſeln, um die Ueberzeugung zu gewinnen, daß in dieſer Zwiſchenzeit eine große Veränderung in dem relativen Stande der Sonne gegen alle anderen Sterne eingetreten ſeyn muß. Außer der Sonne und dem Monde giebt es auch noch mehrere andere Himmelskörper, die man Planeten nennt, welche großentheils ſchon dem unbewaffneten Auge als die größten und glänzendſten Sterne erſcheinen, und daſſelbe Phänomen einer beſtändigen Veränderung ihres Ortes unter den Sternen darbieten, indem ſie denjenigen, auf welche

wir ſie, als wie auf feſte Punkte, beziehen, bald ſich nähern, bald ſich von ihnen entfernen; und wie die Sonne und der Mond, durchlaufen ſie, einige in längeren, andere in kürzeren Perioden den ganzen Himmelsraum.

249) Dieſes ſind indeſſen Ausnahmen von der allgemeinen Regel. Die unzählige Menge der Sterne, welche über das Gewölbe des Himmels vertheilt ſind, machen ein Sternbild aus, das nicht allein für das Auge des zufälligen Beobachters, ſondern auch für die genauere Beobachtung des Aſtronomen ein gleichförmiges Anſehen behält, welches, verglichen mit den beſtändigen Veränderungen in den Stellungen der Sonne, des Mondes und der Planeten, wohl unveränderlich genannt werden kann; jedoch nicht in der Hinſicht, als ob man nicht durch die Schärfe genauer Meſſungen, die von Jahrhundert zu Jahrhundert fortgeſezt werden, einige kleine Veränderungen des ſcheinbaren Ortes, die weder einer Illuſion, noch einer terreſtriſchen Urſache zuzuſchreiben ſind, bei einigen derſelben entdecken könnte. Dergleichen Veränderungen des Ortes heißen in der Aſtronomie die eigenen Bewegungen der Sterne; aber dieſe ſind ſo außerordentlich langſam, daß der geſammte Betrag derſelben (ſelbſt bei ſolchen Sternen, wo ſie am größten ſind) noch nicht hinlänglich geweſen iſt, um ſeit den früheſten Zeiten, bis zu welchen die Aſtronomie reicht, irgend eine auffallende oder weſentliche Veränderung im Anſehen des geſtirnten Himmels hervorzubringen.

250) Durch dieſen Umſtand entſteht nun eine ſcharfe Theilung der Himmelskörper in zwei große Claſſen: in Fixſterne, bei welchen man (wenn man nicht die Beobachtungen viele Jahre lang fortſetzt) keine Veränderung der gegenſeitigen Lage entdecken kann; und in Wandelſterne oder Planeten*), mit Einſchluß der Sonne, des Mondes und der eigentlich ſo genannten Planeten, wie auch der beſondern Claſſe von Himmelskörpern, welche unter dem Namen der Kometen bekannt ſind, und in deren ſcheinbaren Orten am Himmel ſchon die Beobach-

---

*) Πλανητης, ein Wanderer.

tung einiger Tage oder ſelbſt Stunden ausreichend iſt, eine unbeſtreitbare Veränderung zu erkennen.

251) Die Uranographie, inſofern ſie ſich mit den ſogenannten Fixſternen beſchäftigt, beſchränkt ſich blos darauf, ihre relativen Orte auf einer Himmelskugel oder auf Himmelscharten zu verzeichnen, und auf dieſer Kugel ſowohl dem Weltpole, oder dem verſchwindenden Punkte aller mit der Erdaxe parallel laufenden Linien, als auch dem Aequator und Nachtgleichenpunkte, ihre richtige Lage in dem allgemeinen großen Sternbilde zu geben. Alles dieſes ſind Punkte und Kreiſe, die, wenn auch künſtlich und ſich nur auf unſere Erde beziehend, mithin alſo allen Veränderungen ausgeſetzt, denen die Erdaxe ſelbſt etwa unterworfen iſt, doch ſo bequem in der Praxis ſind, daß ſie (nebſt einigen andern Kreiſen und Linien) durch den Gebrauch, auf allen Kugeln und Planiſphären angenommen und ſanctionirt worden ſind. Der Leſer muß ſie indeſſen ſorgfältig in ſeinem Geiſte unterſcheiden und ſich mit dem Gedanken von zwei oder mehreren Himmelskugeln vertraut machen, die über einander liegen und in einander paſſen, ſo daß auf einer derſelben — einer wirklichen — die Sterne verzeichnet ſind, auf den andern jene imaginären Punkte, Linien und Kreiſe, welche die Aſtronomen für ihre Zwecke und zur Unterſtützung ihrer Berechnungen erfunden haben; und er muß ſich gewöhnen, bei den letztern oder künſtlichen Kugeln die Fähigkeit anzunehmen, daß ſie auf irgend eine Weiſe auf der Oberfläche der erſteren verſchoben werden können, ſo daß, wenn die Erfahrung lehrt (wie es wirklich der Fall iſt), daß dieſe künſtlichen Punkte und Linien durch eine langſame Bewegung der Erdaxe, oder durch andere Säcularänderungen (wie ſie genannt werden), in ſehr entfernten Zeiträumen mit verſchiedenen Sternen zuſammenfallen, ihm ſolche Veränderungen nicht unerwartet kommen, und ihm die Berichtigung ſeiner Begriffe keine Verwirrung verurſache.

252) Wir ſprechen demnach hier nicht von jenen ſeltſamen Figuren und Umriſſen von Menſchen und Ungeheuern, die gewöhnlich auf Himmelskugeln und Charten gekritzelt werden, und uns auf eine rohe und bar-

bariſche Weiſe in den Stand ſetzen ſollen, von Sterngruppen oder Diſtricten am Himmel zu ſprechen, mit Hülfe von Namen, welche, wie ungereimt und kindiſch ſie ihrem Urſprunge nach auch ſind, dennoch Gültigkeit erlangt haben, die man ihnen ſchwerlich, und vielleicht nur mit Nachtheil, nehmen kann. Inſofern ſie wirklich (wie es bei einigen der Fall iſt) eine geringe Aehnlichkeit mit den Figuren haben, welche ein Anblick der glänzenderen „Sternbilder“ in der Einbildungskraft des Menſchen hervorgerufen hat, gewähren ſie eine gewiſſe Bequemlichkeit; da ſie aber anderſeits ganz willkührlich ſind, und keinen natürlichen Unterabtheilungen oder Gruppirungen der Sterne entſprechen, ſo legen die Aſtronomen wenig Werth auf dieſelben, oder berückſichtigen ſie gar nicht*), außer, um merkwürdige Sterne auf eine kurze Art zu benennen, z. B. α Leonis, β Scorpii u. ſ. w. mit Hülfe der Buchſtaben des griechiſchen Alphabetes, die denſelben beigefügt werden. Der Leſer findet ſie auf den meiſten Himmelscharten oder Himmelskugeln, er kann ſie mit dem Himmel vergleichen, und für ſich ihre Lage kennen lernen.

253) Es fehlt indeſſen nicht an natürlichen Diſtrikten am Himmel, welche große Eigenthümlichkeiten darbieten, und jedem Beobachter ſehr auffallen. Dahin gehört z. B. die Milchſtraße, jener große leuchtende Gürtel, der ſich jeden Abend von Horizont zu Horizont über den ganzen Himmel hinzieht, und, wenn er mit Sorgfalt verfolgt und auf eine Charte

*) Dieſe Nichtberückſichtigung geſchieht nicht aus Anmaßung, ſondern ſie hat vielmehr ihren guten Grund. Die Sternbilder ſcheinen beinahe abſichtlich benannt und gezeichnet worden zu ſeyn, um ſoviel, als nur immer möglich, Verwirrung und Unbequemlichkeit zu verurſachen. Unzählige Schlangen winden ſich durch lange und verzogene Räume des Himmels, wohin ihnen kein Gedächtniß folgen kann. Bären, Löwen und Fiſche, große und kleine, nördliche und ſüdliche, bringen alle Nomenclatur u. ſ. w. in Verwirrung. Ein beſſeres Syſtem der Sternbilder würde, als ein künſtliches Hülfsmittel fürs Gedächtniß, von weſentlichem Nutzen geweſen ſeyn.

gezeichnet wird, eine Zone bildet, welche die ganze Kugel faſt in einem größten Kreiſe umgiebt, der weder ein Stundenkreis iſt, noch auch mit irgend andern aſtronomiſchen Bezeichnungen coincidirt. Er trennt ſich an einer Stelle ſeines Laufes, indem er eine Art von Seitenzweig abgiebt, der ſich abermals mit dem Hauptſtamme wieder verbindet, nachdem er bis auf eine Strecke von etwa 150 Graden von demſelben abgeſondert geweſen war. Dieſer merkwürdige Gürtel hat von den früheſten Zeiten her dieſelbe relative Lage unter den Sternen behalten; und wenn man ihn mit ſehr lichtſtarken Teleſkopen unterſucht, ſo ergiebt ſich's (was höchſt wunderbar klingt!), daß er gänzlich aus Millionen von Sternen beſteht, die wie glänzender Staub auf den ſchwarzen Grund des allgemeinen Himmels geſtreut ſind.

254) Eine andere merkwürdige Gegend am Himmel iſt der Thierkreis, und zwar nicht um deswillen, daß irgend etwas Beſonderes in ſeiner eigenen Beſchaffenheit obwaltete, ſondern weil er den Raum bezeichnet, auf welchen die ſcheinbaren Bewegungen der Sonne, des Mondes und aller größern Planeten beſchränkt ſind. Um die Bahn eines derſelben zu verfolgen, braucht man nur durch fortgeſetzte Beobachtung ihre Orte für aufeinander folgende Zeitpunkte zu beſtimmen, und dieſe auf unſerer Charte oder Kugel in hinlänglicher Anzahl zu bezeichnen, ſo daß eine nicht zu ſehr getrennte Reihe entſteht, die man durch Linien von Punkt zu Punkt verbinden kann, ſo wie wir den Lauf eines Schiffes auf dem Meere bezeichnen, indem wir von Tag zu Tag ſeinen Ort auf der Charte eintragen. Wenn nun dieſes geſchehen iſt, ſo wird man finden:

1) Daß die ſcheinbare Bahn der Sonne an der Oberfläche des Himmels keine andere, als genau ein größter Kreis der Kugel iſt, den man die Ekliptik nennt, und welcher gegen den Aequinoctialkreis unter einem Winkel von 23° 28′ geneigt iſt und denſelben in zwei einander gegenüberliegenden Punkten ſchneidet, welche die Aequinoctialpunkte, oder die Nachtgleichen heißen, und von einander durch die Vorſetzworte „Frühlings=“

und „Herbſt-“ unterſchieden werden. Der Frühlingsnachtgleichenpunkt iſt derjenige, wo die Sonne den Aequinoctialkreis von Süden nach Norden durchſchreitet; im Herbſtnachtgleichenpunkte ſchneidet ſie ihn, wenn ſie die nördliche Hemiſphäre verläßt und in die ſüdliche übertritt.

2) Daß der Mond und alle Planeten Bahnen beſchreiben, die auf gleiche Weiſe um den ganzen Himmel Kreiſe bilden, welche aber nicht, gleich demjenigen der Sonne, größte Kreiſe ſind, die genau in ſich ſelbſt zurücklaufen und die Himmelskugel halbiren, ſondern vielmehr ſehr complicirte Spirallinien, welche in ihren verſchiedenen Theilen mit ſehr ungleichen Geſchwindigkeiten beſchrieben werden. Sie alle haben indeſſen dieſes mit einander gemein, daß die allgemeine Richtung ihrer Bewegungen derjenigen der Sonne gleich iſt, nämlich von Weſten nach Oſten, alſo derjenigen entgegengeſetzt, in welcher ſowohl ſie, als die Sterne, durch die tägliche Bewegung des Himmels umgeführt werden; und außerdem, daß ſie nie auf irgend einer Seite ſich weit von der Ekliptik entfernen, dieſelbe in regelmäßigen und gleichen Zwiſchenräumen ſchneiden und wiederum ſchneiden, und ſich auf eine Zone beſchränken (auf den bereits erwähnten Thierkreis), welche ſich auf jeder Seite der Ekliptik bis auf 9 Grade erſtreckt.

255) Es würde offenbar ganz nutzlos ſeyn, auf Himmelskugeln oder Sterncharten die ſcheinbaren Bahnen dieſer Himmelskörper zu verzeichnen, welche nie den nämlichen Weg wieder verfolgen, und deshalb, wie ſich erweiſen läßt, zu einer oder zur andern Zeit, jeden Punkt in dem Raume der Himmelszone einnehmen müſſen, innerhalb welcher ſie ihre Bahnen beſchreiben. Die ſcheinbare Complication ihrer Bewegungen (diejenige des Mondes ausgenommen) rührt daher, daß wir ſie von einem Standpunkte aus beobachten, welcher ſelbſt in Bewegung iſt, und ſie würde gänzlich verſchwinden, wenn wir unſern Standpunkt verändern und ſie von der Sonne aus beobachten könnten. Dagegen bietet ſich uns die ſcheinbare Bewegung der Sonne unter der am wenigſten verwickelten Form dar, und ſie wird von dem Standpunkte aus, den wir einnehmen, am vortheilhafteſten unterſucht;

ſo daß, abgeſehen von der Wichtigkeit, die dieſer leuchtende Himmelskörper für uns in andern Hinſichten hat, wir zuvörderſt durch die Erforſchung der Geſetze ſeiner Bewegungen uns zu einer Kenntniß derjenigen aller andern Himmelskörper unſeres Syſtemes erheben müſſen.

256) Die Ekliptik, welche die ſcheinbare Bahn der Sonne unter den Sternen iſt, wird von ihr durchlaufen in einer Zeitperiode, die man das ſideriſche Jahr nennt, welches aus 365 Tagen 6 Stunden 9 Minuten 9,6 Sekunden mittlerer Sonnenzeit, oder aus 366 Tagen 6 Stunden 9 Minuten 9,6 Sekunden Sternzeit beſteht. Der Grund dieſes Unterſchiedes (und es iſt der nämliche, von welchem auch der Unterſchied zwiſchen Sonnen- und Sternzeit herrührt) beruht darauf, daß die ſcheinbare jährliche Bewegung der Sonne unter den Sternen in einer der ſcheinbaren täglichen Bewegung von Sonne und Sternen entgegengeſetzten Richtung ſtatt findet, und es alſo auf eins hinauskommt, ob die tägliche Bewegung der Sonne um ſo viel langſamer wäre, als diejenige der Sterne, oder ob die Sonne hinter ihnen in ihrem täglichen Laufe zurückbliebe. Wenn dieſes ein ganzes Jahr lang fortgedauert hat, ſo wird die Sonne hinter den Sternen um einen ganzen Umfang des Himmels zurückgeblieben ſeyn, oder mit andern Worten, die Sonne wird in einem Jahre einen täglichen Umlauf weniger gemacht haben, als die Sterne; ſo daß derſelbe Zeitraum, welcher 366 Tage 6 Stunden u. ſ. w. Sternzeit beträgt, nach mittlern Sonnentagen, Stunden u. ſ. w. gerechnet, 365 Tage 6 Stunden u. ſ. w. ausmacht. So wäre denn das Verhältniß zwiſchen dem mittlern Sonnentage und dem Sterntage feſtgeſtellt, und es läßt ſich, auf einen Decimalbruch reducirt, durch 1,00273791 zu 1 ausdrücken. Die Meſſung der Zeit nach dieſen verſchiedenen Maaßſtäben läßt ſich mit derjenigen des Raumes nach den Normalfußen oder Ellen von zwei verſchiedenen Ländern vergleichen; iſt das Verhältniß derſelben einmal feſtgeſtellt, ſo kann es nie zu einer Quelle von Irrthum werden.

257) Die Lage der Ekliptik am Himmel können wir für unſern gegenwärtigen Zweck als unveränderlich be-

trachten. Streng genommen iſt dieſes zwar nicht der Fall; und wenn wir ihre jetzige Lage mit derjenigen vergleichen, welche ſie zu der entfernteſten Epoche hatte, von der wir noch Beobachtungen beſitzen, ſo finden wir allerdings Beweiſe einer kleinen Veränderung, über welche die Theorie Rechenſchaft gibt, und deren Natur ſpäter erklärt werden ſoll; aber dieſe Veränderung geſchieht ſo außerordentlich langſam, daß man für eine große Reihe auf einander folgender Jahre, oder ſelbſt für ganze Jahrhunderte, annehmen kann, dieſer Kreis behalte dieſelbe Lage am Sternhimmel.

258) Die Pole der Ekliptik, gleich denen jedes andern größten Kreiſes der Himmelskugel, ſind Punkte, welche auf der Oberfläche der Himmelskugel einander gegenüber liegen, und von der Ekliptik nach allen Richtungen gleich weit abſtehen. Sie fallen demnach nicht mit denen des Aequinoctialkreiſes zuſammen, ſondern ſind um einen Winkelabſtand von ihnen entfernt, welcher gleich iſt der Neigung der Ekliptik gegen den Aequinoctialkreis (23° 28′), und dieſe Neigung nennt man die Schiefe der Ekliptik. Wenn in Fig. 37. P, p den Nord- und Südpol des Aequinoctialkreiſes bezeichnen und EQAV den Aequinoctialkreis, VSAW die Ekliptik, und Kk die Pole derſelben, ſo iſt der ſphäriſche Winkel QVS die Schiefe der Ekliptik, und das Maaß deſſelben iſt gleich den Bögen PK oder SQ. Wenn wir annehmen, daß die ſcheinbare Bewegung der Sonne in der Richtung VSAW ſtatt finde, ſo wird V der Frühlings- und A der Herbſtnachtgleichenpunkt ſeyn. S und W, oder die beiden Punkte, wo die Ekliptik vom Aequinoctialkreiſe am weiteſten entfernt iſt, heißen die Solſtitien oder Sommerwenden, weil die Sonne, wenn ſie daſelbſt angelangt iſt, aufhört, ſich noch weiter vom Aequator zu entfernen, und (in Bezug auf ihre Bewegung in der Declination) am Himmel ſtill ſteht und ſich wieder gegen den Aequator wendet. Der Punkt S, wo die Sonne die größte nördliche Declination hat, heißt das Sommerſolſtitium, und der Punkt W, wo ſie am weiteſten nach Süden gerückt iſt, heißt das Winterſolſtitium. Dieſe Namen ſind offenbar daraus

entſtanden, daß die Jahreszeiten von der Declination der Sonne abhängig ſind, was im nächſten Capitel erklärt werden ſoll. Der Kreis EKPQkp, welcher durch die Pole der Ekliptik und des Aequinoctialkreiſes geht, heißt der Solſtitiarcolur, und ein Meridian PVpA, welcher durch die Nachtgleichenpunkte gezogen wird, heißt der Aequinoctialcolur.

259) Da die Ekliptik eine beſtimmte Lage am Sternhimmel hat, ſo kann ſie, gleich dem Aequinoctialkreiſe, benutzt werden, um die Lage der Sterne durch Kreiſe auf ſie zu beziehen, welche von ihren Polen aus durch die Sterne gezogen werden und deshalb ſenkrecht auf ihr ſtehen. Dergleichen Kreiſe nennt man in der Aſtronomie Breitenkreiſe. Der Abſtand eines Sternes von der Ekliptik auf die Breitenkreiſe gemeſſen, welcher durch den Stern geht, heißt die Breite des Sterns; und der Bogen der Ekliptik, welcher zwiſchen dem Frühlingsnachtgleichenpunkte und jenem Kreiſe liegt, heißt die Länge des Sterns. In Fig. 37. ſoll X einen Stern bezeichnen, PXR einen durch denſelben gezogenen Declinationskreis, durch welchen derſelbe auf den Aequinoctialkreis bezogen wird, und HXT einen Breitenkreis, durch welchen der Stern auf die Ekliptik bezogen wird. So wie nun VR die gerade Aufſteigung und RX die Abweichung oder Declination des Sternes X iſt, ſo iſt auch VT ſeine Länge und TX ſeine Breite. Die Anwendung der Ausdrücke „Länge“ und „Breite“ in dieſem Sinne ſcheint daraus entſtanden zu ſeyn, daß man die Ekliptik als eine Art von natürlichem Aequator des Himmels betrachtete, wie der Erdäquator es für die Erde iſt. Der erſtere behauptet eine unveränderliche Lage in Bezug auf die Sterne, ſo wie der letztere in Bezug auf die Standpunkte auf der Oberfläche der Erde. Die Richtigkeit dieſer Bemerkung wird ſogleich näher einleuchten.

260) Kennt man die gerade Aufſteigung und die Abweichung eines Himmelskörpers, ſo kann man ſeine Länge und Breite finden, und umgekehrt. Dieſes Problem iſt von großem Nutzen in der geſammten Aſtronomie. Die Auflöſung deſſelben iſt folgende: In Fig. 37

iſt der Solſtitialcolur EKPQ 90° entfernt von V, dem Frühlingsnachtgleichenpunkte, welcher einer von ſeinen Polen iſt, ſo daß, da VR (die gerade Aufſteigung), und auch VE gegeben ſind, der Bogen ER, und das Maaß deſſelben, nämlich der ſphäriſche Winkel EPR, oder KPX bekannt iſt. In dem ſphäriſchen Dreiecke KPX ſind alſo gegeben:

1) Die Seite PK, welche, als der Abſtand des Poles der Ekliptik von dem des Aequinoctialkreiſes, der Schiefe der Ekliptik gleich iſt;

2) die Seite PX, der Abſtand vom Pole, oder das Complement der Declination RX; und

3) der eingeſchloſſene Winkel KPX. Folglich laſſen ſich nach den Grundſätzen der ſphäriſchen Trigonometrie leicht die andere Seite KX und die übrigen Winkel finden. Nun iſt aber KX das Complement der verlangten Breite XT, und da der Winkel PKX gefunden, und PKV ein rechter Winkel iſt (weil SV = 90°), ſo iſt auch der Winkel von XKV bekannt. Dieſes iſt aber kein anderer, als das Maaß der Länge VT des Himmelskörpers. Das umgekehrte Problem wird mittelſt deſſelben Dreieckes und durch ein ganz ähnliches Verfahren aufgelöſet.

261) Dieſelbe Reihe von Beobachtungen, durch welche die Bahn der Sonne unter den Fixſternen verfolgt, und die Lage der Ekliptik ausgemittelt wird, beſtimmt ſonach auch für dieſe Zeit den Ort des Nachtgleichenpunktes V an der Himmelskugel. Dieſer Punkt iſt in der praktiſchen Aſtronomie von großer Wichtigkeit, indem er der Anfangs- oder Nullpunkt der geraden Aufſteigungen iſt. Wenn nun dieſes Verfahren nach ziemlich langen Zeiträumen wiederholt wird, ſo bemerkt man eine ſehr auffallende Erſcheinung, nämlich, daß der Nachtgleichenpunkt nicht einen feſten Ort unter den Sternen behält, ſondern ſeine Lage verändert, indem er beſtändig und regelmäßig, wiewohl mit außerordentlicher Langſamkeit, längs der Ekliptik zurückgeht, nämlich in der Richtung VW von Oſten nach Weſten, oder in einer Richtung, die derjenigen entgegengeſetzt iſt, in welcher die Sonne in dieſem Kreiſe fortſchreitet. Da die Ekliptik und der Aequinoctialkreis nicht ſehr beträchtlich gegen

einander geneigt ſind, ſo wirkt dieſe Bewegung des Nachtgleichenpunktes von Oſten nach Weſten, längs der erſtern im Allgemeinen mit der täglichen Bewegung zuſammen, und führt ihn, in Bezug auf dieſe Bewegung, beſtändig den Sternen voran. Daher hat dieſe Bewegung den Namen des Vorrückens der Nachtgleichen erhalten, indem der Ort des Nachtgleichenpunktes am Himmel in jedem folgenden Augenblicke (in Bezug auf die tägliche Bewegung) vor demjenigen vorrückt, den er den Augenblick vorher einnahm. Der Betrag dieſer Bewegung, in deren Folge der Nachtgleichenpunkt auf der Ekliptik rückwärts ſchreitet, iſt 0° 0′ 50″,10 jährlich, eine außerordentlich kleine Quantität, die aber durch ihre beſtändige Anſammlung von Jahr zu Jahr endlich ſehr merkbar wird, und zwar auf eine für praktiſche Aſtronomen ſehr unbequeme Weiſe, indem ſie nämlich nach Verlauf einer mäßigen Zahl von Jahren die Anordnung ihrer Sternverzeichniſſe vernichtet und es nöthig macht, neue anzufertigen. Seit der Verfertigung des erſten bekannten Verzeichniſſes dieſer Art iſt bereits der Ort des Nachtgleichenpunktes ohngefähr 30° zurückgegangen. Die Periode, in welcher er die ganze Ekliptik durchläuft, beträgt 25868 Jahre.

262) Die unmittelbare Folge des Vorrückens der Nachtgleichen in uranographiſcher Hinſicht iſt eine gleichförmige Zunahme der Länge aller Himmelskörper, ſowohl der Fixſterne, als der Planeten. Denn da der Frühlingsnachtgleichenpunkt der Anfangspunkt der Längen, wie auch der geraden Aufſteigungen iſt, ſo vermehrt ein Zurückgehen dieſes Punktes auf der Ekliptik die Längen aller Sterne um eben ſo viel, mögen ſie im Zuſtande der Ruhe oder der Bewegung ſich befinden, und es bewirkt, ſo weit der Betrag deſſelben ſich erſtreckt, eine allen gemeinſchaftliche ſcheinbare Bewegung in der Länge, gleichſam als ob der ganze Himmel eine langſame Umdrehung um die Pole der Ekliptik in der oben erwähnten langen Zeitperiode ausführe, derjenigen ähnlich, welche derſelbe alle 24 Stunden um die Pole des Aequinoctialkreiſes vollbringt.

263) Um uns indeſſen einen richtigen Begriff von

dieſer merkwürdigen aſtronomiſchen Erſcheinung zu machen, müſſen wir für einige Zeit die Ekliptik ganz außer Acht laſſen, indem ſie ſonſt in unſeren Vorſtellungen Verwirrung erzeugen könnte, und zwar aus dem Grunde, weil die Stabilität der Ekliptik ſelbſt (wie bereits im Art. 257. angedeutet worden) nur approximativ iſt, und folglich ihr Durchſchnitt mit dem Aequinoctialkreiſe bis zu einem gewiſſen Betrage einer Veränderung unterworfen iſt, die von ihrer eigenen Beweglichkeit herrührt, und ſich mit derjenigen vermiſcht, welche der uranographiſchen Haupturſache der Erſcheinung zuzuſchreiben iſt. Dieſe Urſache wird ſogleich einleuchten, wenn wir, ſtatt den Nachtgleichenpunkt ins Auge zu faſſen, unſere Aufmerkſamkeit auf den Pol des Aequinoctialkreiſes oder auf den verſchwindenden Punkt der Parallelen der Erdaxe richten.

264) Der Ort dieſes Punktes am Himmel läßt ſich zu jeder Zeit durch die directeſte aller aſtronomiſchen Beobachtungen, nämlich durch diejenige mit dem Mauerkreiſe, beſtimmen. Mit dieſem Inſtrumente ſind wir im Stande, jeden Augenblick den genauen Abſtand des Polarpunktes von je zweien oder mehreren Sternen zu meſſen, und können ihn deshalb, indem wir ihn mit dieſen Sternen durch Dreiecke verbinden, mit gehöriger Schärfe auf eine Sterncharte oder auf eine Himmelskugel eintragen, und zwar, ohne uns im Geringſten um die Lage der Ekliptik, oder irgend eines andern nicht natürlich mit ihm in Verbindung ſtehenden Kreiſes zu bekümmern. Wenn dieſes nun mit gehörigem Fleiße und mit aller Genauigkeit geſchehen iſt, ſo ergiebt ſich, daß der Ort des Poles, wenn er auch für kurze Zeiträume, z. B. für einige Tage, als nicht merklich veränderlich betrachtet werden kann, doch in der Wirklichkeit ſich in einem Zuſtande beſtändiger, obſchon äußerſt langſamer Bewegung befindet; und was noch weit merkwürdiger iſt, dieſe Bewegung iſt nicht gleichförmig, ſondern zuſammengeſetzt aus einer gleichförmigen, oder beinahe gleichförmigen Hauptbewegung, und aus andern kleineren und untergeordneten periodiſchen Schwankungen. Die erſtere veranlaßt die Erſcheinung des Vorrückens

der Nachtgleichen, oder der Präceſſion, und aus den letzteren ergiebt ſich eine andere beſondere Erſcheinung, welche man das Schwanken der Erdaxe, oder die Nutation, nennt. Dieſe beiden Erſcheinungen gehören zwar theoretiſch einem und demſelben allgemeinen Capitel an, und ſind genau mit einander verbunden, indem ſie einen Theil einer großen und complicirten Kette von Folgerungen bilden, welche ſich aus der Umdrehung der Erde um ihre Axe ergeben; aber der größern Deutlichkeit wegen wird es vortheilhaft ſeyn, ſie einzeln zu betrachten.

265) In Folge des gleichförmigen Theiles der Bewegung des Poles hat man nun gefunden, daß er am Himmel einen Kreis beſchreibt, deſſen Mittelpunkt der Pol der Ekliptik iſt, indem er beſtändig in derſelben Entfernung von dieſem, nämlich 23° 28′, in der Richtung von Oſten nach Weſten, und mit einer ſolchen Geſchwindigkeit ſich bewegt, daß der jährliche, in dieſer ſeiner imaginären Bahn von ihm beſchriebene Winkel 50″,10 beträgt, ſo daß der ganze Kreis von ihm in der oben erwähnten Zeit von 25868 Jahren durchlaufen wird. Es läßt ſich leicht einſehen, wie eine ſolche Bewegung des Poles die rückgängige Bewegung der Nachtgleichenpunkte herbeiführt; denn wenn (Fig. 37.) der Pol P, im Verlaufe ſeiner Bewegungen in dem kleinen Kreiſe POZ um K herum, nach O kommt, ſo muß, weil die Lage des Aequinoctialkreiſes EVQ durch diejenige des Poles beſtimmt wird, erſterer offenbar eine andere Lage annehmen, und zwar die Lage EUQ, welche in jedem Theile von der neuen Lage O des Poles um 90° entfernt iſt. Der Punkt U, oder der neue Nachtgleichenpunkt, in welchem der veränderte Aequinoctialkreis die Ekliptik ſchneidet, muß deshalb auf derjenigen Seite von V, ſeinem urſprünglichen Orte, liegen, gegen welche die Bewegung des Poles gerichtet iſt, d. h. nach Weſten.

266) Das Vorrücken der Nachtgleichen, aus dieſem Geſichtspunkte betrachtet, beſteht demnach in einer wirklichen, aber ſehr langſamen Bewegung des Weltpoles, die in einem kleinen Kreiſe um den Pol der

Ekliptik geſchieht. Dieſes kann nun nicht ſtatt finden, ohne entſprechende Veränderungen in der ſcheinbaren täglichen Bewegung der Himmelskugel und in dem Anſehen zur Folge zu haben, das der Himmel in ſehr entfernten Epochen darbieten muß. Der Weltpol iſt weiter nichts, als der verſchwindende Punkt der Erdaxe. Da nun dieſer Punkt eine ſolche Bewegung beſitzt, wie ſie beſchrieben worden iſt, ſo folgt nothwendig daraus, daß die Erdaxe eine coniſche Bewegung haben müſſe, in deren Folge ſie nach und nach auf jeden Punkt des kleinen fraglichen Kreiſes hinzeigt. Wir können uns den beßten Begriff von einer ſolchen Bewegung machen, wenn wir den Kreiſel eines Kindes betrachten, ſobald er nicht in ſenkrechter Stellung ſich dreht, oder jenes unterhaltende Spielzeug, der Tanzknopf, welcher, mit Geſchicklichkeit gehandhabt und fein balancirt, zu einem netten phyſikaliſchen Inſtrumente wird, und auf die ſchönſte Weiſe die ganze Erſcheinung dergeſtalt erläutert, daß man ſogleich einen klaren Begriff von ihr erhält, und auch die phyſikaliſche Urſache derſelben als einen dynamiſchen Effect einſehen kann. Der Leſer muß ſich in Acht nehmen, die Veränderung der Lage der Erdaxe im Raume nicht mit einer bloßen Verrückung der imaginären Linie im Innern derſelben, um welche ſie ſich umdreht, zu verwechſeln. Die ganze Erde nimmt an der Bewegung Theil und dreht ſich mit der Axe, als ob dieſelbe wirklich eine durch die Erde getriebene eiſerne Spindel wäre. Daß dieſes der Fall iſt, wird durch die zwei wichtigen Thatſachen erwieſen:

1) daß die Breiten der Orte auf der Erde, oder ihre geographiſche Lage in Bezug auf die Pole, ſeit den früheſten Zeiten her keine merkbare Veränderung erfahren haben;

2) daß das Meer ſein Niveau behält, was nicht der Fall ſeyn könnte, wenn die Bewegung der Axe nicht mit einer Bewegung der ganzen Erdmaſſe verbunden wäre.

267) Die ſichtbare Wirkung der Präceſſion auf den Anblick des Himmels beſteht darin, daß ſich einige Sterne und Sternbilder dem Pole ſcheinbar nähern, und an=

dere ſich von demſelben entfernen. Der glänzende Stern des kleinen Bären, welchen wir den Polarſtern nennen, iſt nicht immer unſer Polarſtern geweſen und wird es auch nicht immer bleiben. Zu jener Zeit, wo die erſten Sternverzeichniſſe gemacht wurden, war er 12° vom Pole entfernt, jetzt dagegen nur 1° 24′, und er wird ſich demſelben noch mehr, bis auf einen halben Grad nähern; alsdann wird er ſich wieder von ihm entfernen und Andern Platz machen, welche ihm als Geſellſchafter des Poles folgen werden. Nach Verlauf von ungefähr 12000 Jahren wird der Stern α Lyrae, der funkelndſte in der nördlichen Hemiſphäre, die merkwürdige Stelle eines Polarſternes einnehmen und ſich dem Pole bis auf 5° nähern.

268) Das Schwanken der Erdaxe iſt eine kleine und langſame, untergeordnete drehende Bewegung, in Folge welcher, wenn ſie allein beſtände, der Pol, in einer Periode von etwa 19 Jahren am Himmel eine kleine Ellipſe beſchreiben würde, deren große Axe = 18″,5 und kleine Axe = 13″,74 iſt; die große Axe iſt dabei gegen den Pol der Ekliptik gerichtet, und die kleine bildet folglich mit dieſer Richtung einen rechten Winkel. Die Folge dieſer wirklichen Bewegung des Poles beſteht darinn, daß ſich alle Sterne am Himmel in der nämlichen Periode dem Pole ſcheinbar nähern und von ihm entfernen. Da ferner der Ort des Nachtgleichenpunktes in der Ekliptik durch den Ort des Weltpoles am Himmel beſtimmt wird, ſo bewirkt dieſelbe Urſache ein kleines abwechſelndes Vorſchreiten und Zurückſchreiten der Nachtgleichenpunkte, wodurch in derſelben Periode ſowohl die Längen als die geraden Aufſteigungen der Sterne ebenfalls abwechſelnd vermehrt und vermindert werden.

269) Dieſe beiden Bewegungen beſtehen indeſſen, obſchon wir ſie hier getrennt betrachtet haben, mit einander vereinigt; und da der Pol, während er in Folge der Nutation ſeine kleine Ellipſe von 18″,5 Durchmeſſer beſchreibt, vermöge der größeren und regelmäßig fortſchreitenden Bewegung der Präceſſion, durch einen ſolchen Theil des Kreiſes um den Pol der Ekliptik geführt

wird, als 19 Jahren entſpricht, d. h. durch einen Winkel von 19 + 50″, um den Mittelpunkt (was bei einem kleinen Kreiſe von 23° 28′ Durchmeſſer, vom Mittelpunkte der Kugel aus geſehen, 6′20″ beträgt), ſo wird die Bahn, welche der Pol in Folge der beiden gleichzeitig beſtehenden Bewegungen durchläuft, weder eine Ellipſe noch ein vollkommener Kreis ſeyn, ſondern ein Ring mit kleinen wellenförmigen Ausbiegungen, wie Fig. 38. zeigt (wo indeſſen die wellenförmigen Ein- und Ausbiegungen zu ſehr übertrieben ſind).

270) Dieſe Bewegungen der Präceſſion und Nutation ſind allen Himmelskörpern, ſowohl den Fixſternen, als den Planeten, gemein; und ſchon dieſer Umſtand macht es unmöglich, ſie einer andern Urſache, als einer wirklichen Bewegung der Erdaxe, wie wir ſie beſchrieben haben, beizumeſſen. Würden ſie nur die Fixſterne afficiren, ſo könnte man mit gleicher Wahrſcheinlichkeit behaupten, daß ſie aus einer wirklichen Umdrehung des Firmamentes in 25868 Jahren, gleich einer feſten Schaale um eine Axe, welche durch die Pole der Ekliptik geht, und aus einer wirklichen elliptiſchen Umdrehung dieſer Axe in 19 Jahren, entſtehen müßten. Da ſie aber auch die Sonne, den Mond und die Planeten afficiren, von welchen man, da ſie von der allgemeinen Maſſe der Sterne unabhängige Bewegungen haben, nicht ohne Unſinn annehmen kann, daß ſie an der hohlen Himmelskugel befeſtigt wären*), ſo widerlegt ſich dadurch eine ſolche Idee von ſelbſt, und es bleibt alsdann nur eine wirkliche Bewegung in der Erde übrig, durch welche ſie erklärt werden können. Es wird in einem der folgenden Capitel dargethan werden, daß dieſe Bewegungen nothwendige Folgen der Umdrehung der Erde um ihre Axe, in Verbindung mit ihrer

*) So triftig dieſes Argument auch ſchon iſt, ſo erhält es doch noch neue und entſcheidende Kraft aus dem Geſetze der Nutation, welche ſich jederzeit nach der Lage der Bahn des Mondes richtet. Schreiben wir ſie einer wirklichen Bewegung der Himmelskugel zu, ſo müſſen wir auch behaupten, daß dieſe Kugel durch die Bewegung des Mondes in einem beſtändig zitternden Zuſtande erhalten werde!

elliptiſchen Geſtalt und der ungleichen Anziehung ſind, welche Sonne und Mond auf ihre Polar- und Aequatorialgegenden ausüben.

271) Aus dem uranographiſchen Geſichtspunkte betrachtet, ſind dieſe Bewegungen, da ſie die ſcheinbaren Orte der Sterne afficiren, von der größten Wichtigkeit in der praktiſchen Aſtronomie. Wenn wir von der geraden Aufſteigung und der Abweichung eines Himmelskörpers ſprechen, ſo iſt es nothwendig, den Zeitpunkt anzugeben, den wir im Sinne haben, und ob wir die mittlere gerade Aufſteigung, d. h. diejenige meinen, die in Bezug auf die periodiſche Schwankung, welche eine Folge der Nutation iſt, corrigirt worden, oder die ſcheinbare gerade Aufſteigung, welche, indem ſie von dem wirklichen Orte des Frühlingsnachtgleichenpunktes an gerechnet wird, von dem, durch die Nutation bewirkten, periodiſchen Vor- und Zurückſchreiten des Aequinoctialkreiſes afficirt iſt. Daſſelbe gilt auch von der Länge der Sterne. Die Aſtronomen pflegen alle ihre Beobachtungen, ſowohl der geraden Aufſteigung als der Abweichung, auf einem gemeinſchaftlichen und bequemen Zeitpunkt zu reduciren, wie ſie es nennen, z. B. für temporäre Zwecke, auf den Anfang eines Jahres, oder, für einen bleibenden Gebrauch auf den Anfang eines Jahrzehnts oder eines Jahrhunderts, indem ſie den ganzen Betrag der Präceſſion für die Zwiſchenzeit in Abzug bringen; und außerdem corrigiren ſie dieſelben zuvor hinſichtlich des Einfluſſes der Nutation, indem ſie ſowohl bei der geraden Aufſteigung, als bei der Abweichung, den Betrag der Veränderung ausmitteln und abziehen, welcher durch die Verrückung des Poles vom Mittelpunkte nach dem Umfange der oben erwähnten kleinen Ellipſe entſteht. Dieſes letzte Verfahren wird mit einem techniſchen Ausdrucke die Correction der Beobachtung wegen der Nutationsgleichung genannt. Unter dem Worte „Gleichung“ verſteht man in der Aſtronomie immer den Ausdruck oder das Geſetz einer periodiſchen Schwankung, durch deren Beſeitigung ein Reſultat erhalten wird, nicht wie es beobachtet worden iſt, ſondern wie man es würde

beobachtet haben, wenn die Urſache der Schwankung gar nicht beſtanden hätte.

272) Für dieſe Zwecke ſind, im gegenwärtigen Falle, ſehr bequeme Formeln entwickelt und darnach Tafeln berechnet worden. Sie beſitzen indeſſen einen für dieſes Werk zu techniſchen Charakter; wir wollen aber das Verfahren angeben, nach welchem die Unterſuchung geführt worden iſt. Im Art. 260 iſt gezeigt worden, wie die gerade Aufſteigung und Abweichung eines Himmelskörpers aus deſſen Länge und Breite abgeleitet wird. Indem wir uns auf Fig. 37. beziehen und annehmen, daß das Dreieck K P X orthographiſch auf die Ebene der Ekliptik, wie in Fig. 38., projicirt ſey, ergiebt ſich: daß in dem Dreiecke K P X, K P die Schiefe der Ekliptik, K X das Complement der Breite und der Winkel P K X das Complement der Länge des Himmelskörpers X ſey. Dieſes ſind die bei unſerer Frage gegebenen Größen. Da von den Dreieckspunkten P, K und X blos der erſtere, nämlich der Weltpol, in Folge der Präceſſion und Nutation einer Verrückung unterworfen iſt, ſo iſt einleuchtend, daß hierdurch von jenen gegebenen Größen nur die Seite K P und der Winkel P K X eine Veränderung erleiden, die Seite K X aber nicht im Geringſten davon afficirt wird. Fände keine Nutation ſtatt, ſo würde der Punkt P in Folge der Präceſſion einen vollkommenen Kreis (ohne Aus- und Einbiegungen) um K beſchreiben, mithin der Radius deſſelben K P ebenfalls unveränderlich ſeyn, und nur noch der Winkel P K X, als durch die Bewegung des Punktes P eine Veränderung erleidend, übrig bleiben. Hieraus geht hervor, daß die Seite K P, oder die Schiefe der Ekliptik, nur durch die Nutation, der Winkel P K X, alſo auch die Länge des Sterns, durch Präceſſion und Nutation zugleich, und die Seite K X, folglich auch die Breite des Sterns, durch beide gar nicht verändert wird. Dieſe Veränderungen ſind nun aber, wenn man die Geringfügigkeit der Nutation überhaupt, und bei der Präceſſion die im Vergleich zu der ganzen Periode von 25868 Jahren ſehr geringe Zahl von Jahren, für welche

wir dieſelbe zu beſtimmen verlangen, in Anſchlag bringt) von der Art, daß man ſie in der Geometrie als unendlich kleine Größen betrachten, und auch als ſolche, ohne einen Fehler befürchten zu müſſen, behandeln darf. Die ganze Aufgabe reducirt ſich nun darauf: In einem ſphäriſchen Dreiecke KPX, in welchem eine Seite KX conſtant iſt, und ein Winkel K nebſt der daran liegenden Seite K P durch unendlich kleine gegebene Veränderungen der Lage des Punktes P variiren, die daraus entſtehenden Veränderungen der anderen Seite PX und des Winkels KPX zu beſtimmen. Dieſes iſt eine ſehr einfache und leichte Aufgabe der ſphäriſchen Geometrie, deren Auflöſung mit einemmale die Reductionen giebt, welche wir ſuchen; denn da PX der Abſtand des Himmelskörpers vom Weltpole und der Winkel K P X die Rectaſcenſion deſſelben plus 90° iſt, ſo ſind ihre Variationen gerade diejenigen Quantitäten, die wir ſuchen. Es bleibt uns dabei nur noch übrig, in gehöriger Form den Betrag der Präceſſion und der Nutation in Länge und Schiefe der Ekliptik auszudrücken, um alsdann ſogleich ihren Betrag in Rectaſcenſion und Declination zu erhalten.

273) Die Präceſſion in der Länge iſt eine Quantität, welche der Zeit proportional iſt, nämlich in dem Verhältniſſe von 50″,10 aufs Jahr. Was die Nutation in der Schiefe der Ekliptik und in der Länge anlangt, ſo ſind dieſe nichts anderes, als die Abſciſſe und die Ordinate der kleinen Ellipſe, in welcher ſich der Pol bewegt. Das Geſetz ſeiner Bewegung in dieſer Ellipſe kann der Leſer jedoch nicht eher verſtehen, als bis er die Haupteigenthümlichkeiten der Mondsbewegung kennen gelernt hat, von welcher jenes Geſetz abhängt. (Siehe Cap. XI.)

274) Eine andere Folge deſſen, was wir in Bezug auf Präceſſion und Nutation dargethan haben, beſteht darin, daß die Sternzeit, wie ſich die Aſtronomen derſelben bedienen, nämlich von dem Durchgange des wahren Aequinoctialpunktes durch den Meridian angerechnet, keine mittlere oder gleichförmig fließende Quantität iſt, indem ſie von der Nu-

tation afficirt wird; und außerdem noch, daß, wenn man ſie auf dieſe Weiſe rechnet, ja ſelbſt von der periodiſchen Schwankung der Nutation befreit, ſie nicht ganz genau der täglichen Bewegung der Erde entſpricht. So wie die Sonne einen Tag im Jahr gegen die Sterne durch ihre directe Bewegung in der Länge verliert, ſo gewinnt der Nachtgleichenpunkt einen Tag in 25868 Jahren gegen dieſelben durch ſeine retrograde Bewegung. Wir ſollten deshalb zwiſchen mittlerer und wahrer Sternzeit eben ſo ſorgfältig unterſcheiden, als zwiſchen mittlerer und wahrer Sonnenzeit.

275) Weder Präceſſion noch Nutation verändern die ſcheinbaren Orte der Himmelskörper unter einander. Wir ſehen ſie, in ſo weit dieſe Urſachen wirken, ſo wie ſie ſind, obſchon von einem mehr oder weniger unbeſtändigen Standorte aus, gleichwie wir entfernte Gegenſtände auf dem Lande in ihrer richtigen Lage ſehen, nur daß ſie zu ſteigen und zu fallen ſcheinen, wenn wir ſie von dem ſchwankenden Verdecke eines Schiffes erblicken, das von den Wellen auf und nieder geworfen wird. Aber es giebt eine optiſche Urſache, welche, abgeſehen von Strahlenbrechung oder von Perſpective, die Himmelskörper unter einander verrückt, und bewirkt, daß wir den Himmel immer bis auf einen gewiſſen geringen Betrag unrichtig erblicken. Der Einfluß dieſer Urſache muß unterſucht und berückſichtigt werden, ehe wir eine genaue Kenntniß des Ortes irgend eines Himmelskörpers erlangen können. Dieſe Urſache beſteht in dem, was man die Abirrung des Lichtes nennt, eine merkwürdige und überraſchende Erſcheinung, die daher rührt, daß unſer Standort ſich nicht im Zuſtande der Ruhe, ſondern in raſcher Bewegung befindet, und daß die ſcheinbaren Richtungen der Lichtſtrahlen für einen in Bewegung befindlichen Zuſchauer nicht dieſelben ſind, wie für einen im Zuſtande der Ruhe. Da die Unterſuchung dieſer Wirkung ins Capitel der Uranographie gehört, ſo müſſen wir ſie hier erklären, wiewohl wir für dieſen Zweck einige von den Reſultaten anticipiren müſſen, welche erſt in den folgenden Capiteln näher erörtert werden können.

276) Ein Regenguß, wie wir annehmen wollen, ſoll bei einer gänzlichen Windſtille ſenkrecht niederfallen. Eine dem Regen exponirte Perſon, die ganz ruhig und gerade ſtehen bleibt, würde die Regentropfen auf den Hut bekommen und dadurch geſchützt ſeyn; würde ſie aber nach irgend einer Richtung ſich laufend fortbewegen, ſo würden ihr die Regentropfen ins Geſicht ſchlagen. Die Wirkung würde ganz dieſelbe ſeyn, als wenn während des Stillſtehens der Perſon ein Wind von derſelben Geſchwindigkeit ſich erhöbe und die Regentropfen ihr entgegentriebe. Angenommen, eine Kugel falle von einem Punkte A (Fig. 39.) über einer horizontalen Linie EF, und bei B würde die Kugel von der offenen Mündung einer geneigten hohlen Röhre PQ aufgenommen, ſo würde ſie die untere Seite der Röhre treffen, wenn letztere unbeweglich gehalten würde; bewegte man aber die Röhre in der Richtung EF mit einer Geſchwindigkeit fort, die in jedem Augenblicke der Geſchwindigkeit der Kugel vollkommen entſprechend iſt, ſo daß ſie dabei ihre Neigung gegen den Horizont behält, dergeſtalt, daß, wenn die Kugel durch ihren natürlichen Fall C erreicht hat, die Röhre in die Lage RS gekommen iſt, ſo iſt klar, daß die Kugel während ihres Falles ſich immer in der Axe der Röhre befinden muß; und ein Zuſchauer, welcher die Bewegung der Kugel auf die Röhre bezieht, und ſich mit letzterer fortbewegt, ohne daß er ſich dieſer Bewegung bewußt iſt, wird ſich einbilden, daß die Kugel ſich in der geneigten Richtung RS der Axe der Röhre bewegt habe.

277) Unſere Augen und Teleſcope ſind ſolche Röhren. Auf welche Weiſe wir auch das Licht betrachten mögen, als eine fortſchreitende Welle in einem bewegungsloſen Aether, oder als einen Ausfluß von Atomen, welche den Raum durchdringen, ſo wird, wenn nach Durchdringung der Strahlen durch das Objectivglas des Fernrohrs oder durch die Hornhut des Auges (in welchem Momente die Strahlen diejenige Convergenz erhalten, welche ſie auf einen beſtimmten Punkt im feſten Raume richtet) das Fadenkreuz des einen, oder die Netzhaut des andern, ſeitwärts

geſchoben würde, der Convergenzpunkt der Strahlen (welcher unverändert bleibt) alsdann nicht mehr dem Durchſchnittspunkte des Fadenkreuzes, oder dem Centralpunkte unſeres Geſichtskreiſes, entſprechen. Das Object erſcheint dann verſchoben, und der Betrag dieſer Verſchiebung iſt die Aberration oder Abirrung des Lichtes.

278) Die Erde läuft, mit einer Geſchwindigkeit von etwa 19 engliſchen Meilen in jeder Sekunde, in einer elliptiſchen Bahn um die Sonne, und ändert deshalb die Richtung ihrer Bewegung in jedem Augenblicke. Das Licht pflanzt ſich mit einer Geſchwindigkeit von 192,000 engliſchen Meilen in jeder Sekunde fort, welche Geſchwindigkeit zwar weit größer, als diejenige der Erde, jedoch nicht unendlich größer iſt: es bedarf einer gewiſſen Zeit, um durch irgend einen Raum zu dringen, und in dieſer Zeit durchläuft die Erde einen Raum, welcher ſich zu jenem verhält, wie 19 zu 192000 oder wie die Tangente von 20″, 5 zum Radius. Angenommen nun, APS ſey ein Lichtſtrahl von einem Sterne in A und PQ ſey das Rohr eines Teleſkopes, welches ſo vorwärts geneigt iſt, daß der Focus, den ſein Objectivglas bildet, auf den Durchſchnittspunkt des Fadenkreuzes fällt, ſo ergiebt ſich aus dem Geſagten, daß die Neigung der Röhre ſo beſchaffen ſeyn muß, daß ſich PS zu SQ verhält, wie die Geſchwindigkeit des Lichtes zur Geſchwindigkeit der Erde, oder wie 1 zur Tangente von 20″, 5; und deshalb muß der Winkel SPQ oder PSR, um welchen die Axe des Fernrohrs von der wahren Richtung des Sternes abweichen muß, 20″, 5 betragen.

279) Ein ähnliches Raiſonnement läßt ſich auch anſtellen, wenn die Richtung der Erdbewegung nicht ſenkrecht auf dem Sehſtrahl iſt. Wenn SB (Fig. 40.) die wahre Richtung des Sehſtrahles, und AC die Lage iſt, in welcher das Fernrohr nach der ſcheinbaren Richtung gehalten werden muß, ſo haben wir noch immer das Verhältniß: BC verhält ſich zu BA, wie die Geſchwindigkeit des Lichtes zur Geſchwindigkeit der Erde oder wie der Radius zum Sinus von 20″, 5 (denn

bei ſolchen kleinen Winkeln iſt es ganz einerlei, ob man den Sinus oder die Tangente ſetzt). Aber nach den Grundſätzen der Trigonometrie verhält ſich auch BC zu BA, wie der Sinus von BAC zum Sinus von ACB oder von CBP, welch letzterer Winkel die ſcheinbare Verrückung des Sehſtrahles in Folge der Aberration ausdrückt. Es ergiebt ſich auf dieſe Weiſe, daß der Sinus der Aberration oder (da der Winkel äußerſt klein iſt) die Aberration ſelbſt, dem Sinus des Winkels proportional iſt, welchen die Bewegung der Erde im Raume mit dem Sehſtrahle bildet, und ſie iſt deshalb in ihrem Maximum, wenn die Geſichtslinie auf der Richtung der Erdbewegung perpendiculär iſt.

280) Der uranographiſche Effect der Aberration beſteht alſo darin, das Ausſehen des Himmels zu verzerren, indem alle Sterne ſich direct gegen denjenigen Punkt am Himmel gewiſſermaßen zuſammenſchaaren, welcher der verſchwindende Punkt aller Linien iſt, die mit derjenigen parallel laufen, auf welcher ſich die Erde im Augenblicke bewegt. Da ſich die Erde in der Ebene der Ekliptik um die Sonne bewegt, ſo muß dieſer Punkt in dieſer Ebene um 90° vor der Länge der Erde, oder um 90° hinter der Länge der Sonne liegen, und er verändert ſich ſonach beſtändig, indem er in einem Jahre den Umfang der Ekliptik beſchreibt. Es iſt leicht zu beweiſen, daß die Wirkung der Aberration auf jeden beſondern Stern darin beſteht, ihn ſcheinbar eine kleine Ellipſe am Himmel beſchreiben zu laſſen, deren Mittelpunkt derjenige Punkt iſt, in welchem der Stern geſehen werden würde, wenn die Erde ſich in Ruhe befände.

281) Die Aberration ändert demnach die ſcheinbaren geraden Aufſteigungen und Abweichungen aller Sterne, und zwar um Quantitäten, die ſich leicht berechnen laſſen. Die Formeln, welche für dieſen Zweck am bequemſten ſind, und die, indem ſie zu gleicher Zeit die Correctionen für Präceſſion und Nutation ſyſtematiſch in ſich faſſen, den Beobachter in den Stand ſetzen, mit der größten Leichtigkeit ſeine Beobachtungen der geraden Aufſteigungen und Abweichungen von

dem Einfluſſe jener Aenderungen zu befreien, ſind von Prof. Beſſel entwickelt, und im Anhange zum erſten Bande Transactions of the Astronomical Society in Tafeln gebracht, auch iſt ihnen daſelbſt ein großes, ſehr zweckmäßig eingerichtetes, Verzeichniß der Orte der Hauptfixſterne fürs Jahr 1830 beigegeben.

282) Wenn der Himmelskörper, von welchem der Sehſtrahl ausgeht, ſich ſelbſt in Bewegung befindet, ſo iſt die beſte Art, die Wirkung der Aberration (unabhängig von den theoretiſchen Anſichten über die Natur des Lichtes)*) ſich deutlich zu machen, folgende: Der Strahl, durch welchen wir einen Himmelskörper ſehen, iſt nicht derjenige, welchen er in dem Augenblicke ausſendet, wo wir nach ihm ſehen, ſondern derjenige, den er einige Zeit früher, und zwar um ſo viel früher ausgeſendet hat, als das Licht Zeit gebraucht, um den Raum zu durchlaufen, um welchen der Himmelskörper von uns entfernt iſt. Die aus der Geſchwindigkeit der Erde entſpringende Aberration eines ſolchen Himmelskörpers muß alſo, als eine Correction, nicht auf die Linie angewendet werden, welche den Ort der Erde im Augenblicke der Beobachtung mit demjenigen verbindet, den der Himmelskörper in demſel-

*) Die Reſultate der Undulations- und Corpusculartheorie des Lichtes ſind, was die Aberration anlangt, in der Hauptſache dieſelben. Wir ſagen in der Hauptſache. Es beſteht indeſſen eine kleine Differenz ſelbſt in den numeriſchen Reſultaten. Nach der Undulations-Theorie geſchieht die Fortpflanzung des Lichtes mit gleicher Geſchwindigkeit nach allen Richtungen; mag der leuchtende Körper ſich in Ruhe oder in Bewegung befinden. Nach der Corpusculartheorie findet dieſe Fortpflanzung des Lichtes mit einem Ueberſchuſſe der Geſchwindigkeit in der Richtung der Bewegung des Körpers über diejenige in der entgegengeſetzten Richtung ſtatt, welcher Ueberſchuß gleich iſt der doppelten Geſchwindigkeit der Bewegung des Körpers. In den Fällen alſo, wo ſich ein Körper mit gleicher Geſchwindigkeit direct gegen die Erde hin und direct von derſelben weg bewegt, werden die Aberrationen nach der Undulationstheorie ſich gleich, nach der Corpusculartheorie aber verſchieden ſeyn. Die größte Differenz, welche in unſerm Sonnenſyſteme aus dieſer Urſache entſpringen kann, kann nicht über $^6/_{1000}$ einer Sekunde betragen.

ben Momente einnimmt, ſondern auf die Linie, die beide in dem vorhergehenden Momente verband, als der Himmelskörper den Strahl ausſendete. Daraus läßt ſich nun leicht die Regel ableiten, welche aſtronomiſche Schriftſteller für den Fall eines ſich bewegenden Himmelskörpers aufgeſtellt haben. Aus den bekannten Geſetzen ſeiner Bewegung und derjenigen der Erde berechne man ſeine ſcheinbare oder relative Winkelbewegung für die Zeit, welche das Licht gebraucht, um ſeinen Abſtand von der Erde zu durchlaufen. Dieſe iſt ſeine Aberration, und die Wirkung derſelben beſteht darin, ihn nach ſeiner Richtung zu verrücken, die ſeiner ſcheinbaren relativen Bewegung am Himmel entgegengeſetzt iſt.

Wir wollen dieſes Capitel mit einigen uranographiſchen Problemen beſchließen, die in der Praxis häufig vorkommen und nach den Regeln der ſphäriſchen Trigonometrie aufgelöſet werden.

283) Wenn von den folgenden fünf Quantitäten drei gegeben ſind, eine, oder die beiden übrigen zu finden:

1) Die Breite des Ortes; 2) die Abweichung eines Himmelskörpers; 3) ſein Stundenwinkel, öſtlich oder weſtlich vom Meridian; 4) ſeine Höhe; 5) ſein Azimuth.

In Fig. 11. iſt P der Pol, Z das Zenith und S der Stern; und die fünf oben erwähnten Quantitäten oder ihre Complemente, bilden die Seiten und Winkel des ſphäriſchen Dreieckes PZS. So iſt PZ das Complement der Breite, PS das Complement der Declination, oder der Abſtand vom Pol; SPZ iſt der Stundenwinkel, ZS das Complement der Höhe, oder der Abſtand vom Zenith, und PZS das Azimuth. Durch die Auflöſung dieſes ſphäriſchen Dreieckes können demnach alle Probleme, welche die Verhältniſſe zwiſchen dieſen Quantitäten involviren, aufgelöſet werden.

284) Z. B. man verlangt die Zeit des Aufganges oder des Unterganges der Sonne, oder eines Sternes zu wiſſen, wenn deren gerade Aufſteigung und Abſtand vom Pole gegeben ſind. Der Stern geht auf, wenn er ſcheinbar am Horizonte, oder wirklich 34′ un-

ter demſelben ſteht (wegen der Strahlenbrechung), ſo daß im Augenblicke ſeines ſcheinbaren Aufganges ſein Abſtand vom Zenith 90° 34′ = ZS iſt. Da ſein Abſtand vom Pole PS und das Complement der Orts-Breite ZP ebenfalls gegeben ſind, ſo können wir aus den drei gegebenen Seiten des Dreieckes den Stundenwinkel ZPS finden, der, wenn er bekannt iſt, zu der geraden Aufſteigung des Sternes addirt, oder von derſelben abgezogen werden muß, um die Sternzeit des Unterganges, oder Aufganges zu verfahren, welche, wenn wir wollen, nach den gehörigen Regeln und Tafeln auch in Sonnenzeit verwandelt werden kann.

285) Als ein anderes Beiſpiel deſſelben Dreieckes kann man aufgeben, die örtliche Sternzeit und die Breite des Beobachtungsortes zu finden, durch Beobachtung gleicher Höhen deſſelben Sternes öſtlich und weſtlich vom Meridiane, und durch Bemerkung der Sternzeit, welche zwiſchen beiden Beobachtungen verfloſſen iſt.

Da die Stundenwinkel, welche gleichen Höhen eines Fixſternes entſprechen, gleich ſind, ſo wird der öſtliche oder weſtliche Stundenwinkel gegeben durch die Hälfte der notirten Zwiſchenzeit der Beobachtungen. In unſerem Dreiecke iſt uns alſo dieſer Stundenwinkel ZPS, der Abſtand PS des Sternes vom Pole, und das Complement ſeiner Höhe ZS im Augenblicke der Beobachtung, gegeben. Daraus läßt ſich PZ oder das Complement der Breite des Ortes finden. Da außerdem der Stundenwinkel des Sternes und auch ſeine gerade Aufſteigung bekannt iſt, ſo kennt man auch den Punkt des Aequinoctialkreiſes, welcher im Augenblicke der Beobachtung im Meridiane ſtand, und folglich die örtliche Sternzeit in dieſem Augenblicke. Dieſes iſt eine ſehr nützliche Beobachtung, um an einem unbekannten Standorte die Breite und die Zeit zu beſtimmen.

286) Es iſt oft von Nutzen, die Lage der Ekliptik am ſichtbaren Himmel für jeden Augenblick zu kennen, d. h. nämlich die Punkte, wo ſie den Horizont ſchneidet, und die Höhe ihres höchſten Punktes, oder des hie und da ſo genannten Nonageſimus der Ekliptik, wie auch die Länge dieſes Punktes in der

Ekliptik ſelbſt vom Nachtgleichenpunkte an. Dieſe, und alle Fragen, welche ſich auf dieſelben gegebenen und geſuchten Größen beziehen, werden durch das ſphäriſche Dreieck ZPE (Fig. 41.) aufgelöſet, welches vom Zenith Z (als Pol des Horizontes betrachtet), dem Pole des Aequinoctialkreiſes P, und dem Pole der Ekliptik E gebildet wird. Iſt die Sternzeit gegeben, und auch die gerade Aufſteigung des Poles der Ekliptik welche immer dieſelbe iſt, nämlich 18 Stunden, 0 Min. 0 Sek.), ſo kennt man den Stundenwinkel ZPE dieſes Pols. Es ſind alſo in dieſem Dreiecke gegeben PZ oder das Complement der Breite, PE oder der Abſtand des Poles der Ekliptik vom Weltpole, nämlich 23° 28′, und der Stundenwinkel ZPE; woraus wir finden können 1) die Seite ZE, welche, wie man leicht ſieht, der geſuchten Höhe des Nonageſimus gleich iſt; und 2) den Winkel PZE, welcher das Azimuth des Poles der Ekliptik iſt und, zu 90° addirt oder davon abgezogen, die Azimuthe des öſtlichen und weſtlichen Durchſchnittspunktes der Ekliptik mit dem Horizonte giebt. Die Länge des Nonageſimus endlich kann man erhalten, wenn in demſelben Dreiecke den Winkel PEZ berechnet, welcher das Complement jener Länge iſt.

287) Der Situationswinkel eines Sternes iſt der Winkel, welcher am Sterne von dem durch ihn gezogenen Breiten- und Declinationskreiſe eingeſchloſſen wird. Um ihn in irgend einem gegebenen Falle zu beſtimmen, muß man das Dreieck PSE auflöſen, in welchem PS, PE und der Winkel SPE gegeben ſind, welch letzterer die Differenz zwiſchen der Rectaſcenſion des Sternes und 18 Stunden iſt; und daraus läßt ſich der verlangte Winkel PSE leicht finden. Dieſer Winkel iſt bei manchen Unterſuchungen in der ſphäriſchen Aſtronomie von Nutzen. In den meiſten Büchern über Aſtronomie wird er der Poſitionswinkel genannt, aber der letztere Ausdruck iſt anders und paſſender benutzt worden.

288) Aus dieſen Beiſpielen ergiebt ſich die Art, wie ſolche Aufgaben in der Uranographie, welche von

der ſphäriſchen Trigonometrie abhängen, behandelt werden müſſen; ſie bieten meiſtentheils geringe Schwierigkeit dar, ſobald nur der Leſer die praktiſchen Maxime befolgt, mehr die Pole der größten Kreiſe, auf welche ſich ſeine Aufgabe bezieht, als die Kreiſe ſelbſt, zu berückſichtigen.

Fünftes Kapitel.

Von der Bewegung der Sonne.

Ungleichförmigkeit der ſcheinbaren Bewegung der Sonne. — Veränderlichkeit ihres ſcheinbaren Durchmeſſers, und daraus folgende Veränderlichkeit der Entfernung derſelben von der Erde. — Sie bewegt ſich ſcheinbar um den einen Brennpunkt einer Ellipſe. — Geſetz der Winkelgeſchwindigkeit. — Gleichförmige Beſchreibung der Flächenräume. — Parallaxe der Sonne. — Ihre Entfernung und Größe. — Erklärung der ſcheinbaren Bewegung der Sonne nach Copernicus. — Parallelismus der Erdaxe. — Die Jahreszeiten. — Von der Sonne herrührende Wärme in den verſchiedenen Theilen der Erdbahn.

289) In den vorhergehenden Capiteln iſt dargethan worden, daß die ſcheinbare Bahn der Sonne ein größter Kreis der Himmelskugel iſt, welchen ſie in einem Sternjahre durchläuft. Daraus folgt, daß die Linie, welche die Erde und die Sonne verbindet, beſtändig in einer und derſelben Ebene liegt; und daß deshalb, wie auch die wahre Bewegung beſchaffen ſeyn möge, aus welcher dieſe ſcheinbare entſpringt, ſie auf eine und dieſelbe Ebene beſchränkt ſeyn müſſe, die man die Ebene der Ekliptik nennt.

290) Wir haben bereits geſehen (Art. 118.), daß die Bewegung der Sonne in gerader Aufſteigung nicht gleichförmig iſt. Dieſes erklärt ſich zum Theil durch die Schiefe der Ekliptik, in Folge welcher gleiche Veränderungen in der Länge nicht gleichen Veränderungen der geraden Aufſteigung entſprechen. Beobachten

achten wir aber den Ort der Sonne ein ganzes Jahr hindurch jeden Tag mit dem Paſſageninſtrumente und dem Mauerkreiſe, und berechnen wir daraus die Länge für jeden Tag; ſo werden wir auch dann finden, daß ihre ſcheinbare Winkelbewegung in ihrer eigenthümlichen Bahn noch lange nicht gleichförmig iſt. Die Veränderung der Länge in 24 mittlern Sonnenſtunden beträgt im Durchſchnitt 0° 59′ 8″,33; aber um die Zeit des 31. Dezembers beträgt ſie 1° 1′ 9″,9, und um die Zeit des erſten July nur 0° 57′ 11″,5. Dieſes ſind die äußerſten Grenzen und die mittlere Größe der ſcheinbaren Winkelgeſchwindigkeit der Sonne in ihrer jährlichen Bahn.

291) Dieſe Veränderung ihrer Winkelgeſchwindigkeit ſteht in Verbindung mit einer entſprechenden Veränderung ihrer Entfernung von uns. Die Veränderung der Entfernung wird daraus erkannt, daß man in ihrem ſcheinbaren Durchmeſſer eine Veränderung bemerkt, wenn man denſelben in verſchiedenen Jahreszeiten mit einem dazu geeigneten Inſtrumente, dem ſogenannten Heliometer*), mißt, oder wenn man ihn aus der Zeit berechnet, welche die Sonnenſcheibe braucht, um im Mittagsfernrohre durch den Meridian zu gehen. Der größte ſcheinbare Durchmeſſer entſpricht dem 31. Dezember, oder der größten Winkelgeſchwindigkeit, und beträgt 32° 35″,6; der kleinſte beträgt 31,31″,0 und entſpricht dem erſten Julius; zu welchen Epochen, wie wir geſehen haben, die Winkelgeſchwindigkeit ebenfalls ihre beiden äußerſten Grenzen erreicht. Da wir nun nicht annehmen können, daß die Sonne ihre wahre Größe periodiſch verändere, ſo kann die beobachtete Veränderung ihrer ſcheinbaren Größe nur aus einer wirklichen Veränderung ihrer Entfernung entſpringen. Und da die Sinus oder Tangenten ſolcher kleiner Bögen den Bögen ſelbſt proportional ſind, ſo müſſen die Entfernungen der Sonne von uns, zu den vorhin erwähnten Zeiten, ſich umgekehrt verhalten, wie die ſcheinbaren

---

*) Von ἥλιος, die Sonne, und μετρεῖν, meſſen.

Durchmeſſer derſelben. Die groͤßte, die mittlere und die kleinſte Entfernung der Sonne von uns verhalten ſich deshalb zu einander, wie die Zahlen **1,01679**, **1,00000** und **0,98321**; und ihre ſcheinbare Winkelgeſchwindigkeit nimmt ab, wenn die Entfernung zunimmt und umgekehrt.

292) Es folgt daraus, daß die wahre Bahn der Sonne, wenn man ſie auf die Erde bezieht und ſich letztere im Zuſtande der Ruhe denkt, keinen Kreis bildet, in deſſen Mittelpunkte die Erde ſteht. Die Lage der Erde in der Ebene dieſer Bahn iſt excentriſch, indem naͤmlich die Excentricitaͤt 0,01679 der mittlern Entfernung der Sonne betraͤgt, welche wir als unſere Maaßeinheit bei dieſer Unterſuchung betrachten koͤnnen. Aber außerdem iſt auch die Geſtalt der Bahn nicht kreisfoͤrmig, ſondern elliptiſch. Wenn man von einem Punkte O (Fig. 42.) welcher die Erde darſtellen ſoll, eine Linie OA in einer beſtimmten Richtung zieht, und an dieſe eine Reihe von Winkeln AOB, AOC u. ſ. w. anlegt, welche den beobachteten Laͤngen der Sonne durchs Jahr hindurch gleich ſind; wenn man ferner in dieſen betreffenden Richtungen von O aus die Entfernungen OA, OB, OC u. ſ. w. abmißt, welche die Entfernungen darſtellen, die aus dem beobachteten Durchmeſſer hergeleitet ſind, und dann alle Endpunkte A, B, C, u. ſ. w. dieſer Linien mittelſt einer fortlaufenden Curve verbindet, ſo wird dieſes offenbar eine richtige Darſtellung der relativen Bahn der Sonne um die Erde ſeyn. Nun zeigt ſich, wenn dieſes geſchehen iſt, in der reſultirenden Curve eine Abweichung von der Kreisgeſtalt; man findet, daß ſie offenbar laͤnger, als breit, mithin elliptiſch iſt, und daß der Punkt O nicht den Mittelpunkt, ſondern einen der Brennpunkte der Ellipſe einnimmt. Dieſes hier beſchriebene graphiſche Verfahren iſt ausreichend, um die allgemeine Geſtalt der fraglichen Curve anzugeben; aber fuͤr den Zweck einer vollkommenen Beſtaͤtigung iſt es nothwendig, die Eigenſchaften der Ellipſe zu Huͤlfe zu nehmen, und den Abſtand eines jeden ihrer Punkte durch die Winkellage dieſes Punktes in Bezug

auf die große Axe, oder den Durchmeſſer der Ellipſe, auszudrücken. Dieſes iſt indeſſen leicht geſchehen; und wenn man die Abſtände in Zahlen berechnet, unter der Vorausſetzung, daß die Excentricität ſo ſey, wie ſie oben angegeben wurde, ſo ergiebt ſich, daß zwiſchen den auf dieſe Weiſe berechneten und den aus der Meſſung des ſcheinbaren Durchmeſſers abgeleiteten Entfernungen eine vollkommene genaue Uebereinſtimmung ſtattfindet.

293) Nimmt man den mittlern Abſtand der Erde von der Sonne zur Einheit an, ſo ſind die Extreme 1,01679 und 0,98321. Vergleicht man aber auf ähnliche Weiſe die mittlere oder Durchſchnitts-Winkelgeſchwindigkeit mit ihren Extremen, d. h. mit der größten und kleinſten, ſo wird man finden, daß ſie ſich zu einander verhalten, wie 1,03386, 1,00000, und 0,96614. Die Veränderung der Winkelgeſchwindigkeit der Sonne iſt demnach verhältnißmäßig weit größer, als die Veränderung ihrer Entfernung; ſie iſt völlig noch einmal ſo groß; und wenn wir ihre Zahlenwerthe zu verſchiedenen Perioden unterſuchen, indem wir ſie nämlich mit dem mittlern Werthe und auch mit den entſprechenden Entfernungen vergleichen, ſo werden wir immer finden, daß, um welchen Bruch ihres mittleren Werthes die Entfernung größer iſt, als dieſer mittlere Werth, die Winkelgeſchwindigkeit um einen ſehr nahe zweimal ſo großen Bruch ihres eigenen mittleren Werthes kleiner iſt, als dieſer letztere, und ſo umgekehrt. Dadurch werden wir veranlaßt, zu ſchließen, daß die Winkelgeſchwindigkeit ſich umgekehrt verhält, nicht wie die einfache Entfernung, ſondern wie das Quadrat derſelben, ſo daß, um die tägliche Bewegung der Sonne in der Länge an einem Punkte A ihrer Bahn mit derjenigen bei B zu vergleichen, wir folgende Proportion aufſtellen müſſen: —

OB^2 verhält ſich zu OA^2, wie ſich verhält die tägliche Bewegung bei A zur täglichen Bewegung bei B. Und dieſes beſtätigt ſich auch wirklich aufs Genaueſte in jedem Theile der Bahn.

294) Daraus leiten wir eine andere merkwürdige

Folgerung ab, nämlich, daß, wenn man annimmt, die Sonne bewege ſich wirklich im Umfange dieſer Ellipſe, ihre wirkliche Geſchwindigkeit nicht gleichförmig ſeyn könne, ſondern am größten in ihrer kleinſten Entfernung, und am kleinſten in ihrer größten Entfernung ſeyn müſſe. Denn wäre ſie gleichförmig, ſo würde die ſcheinbare Winkelgeſchwindigkeit blos der Entfernung umgekehrt proportional ſeyn, und zwar aus dem einfachen Grunde, weil dieſelbe Linearveränderung eines Ortes, die in der nämlichen Zeit in verſchiedenen Entfernungen vom Auge ſtatt findet, nach den Geſetzen der Perſpective, ſcheinbaren Winkelbewegungen entſprechen muß, die dieſen Entfernungen umgekehrt proportional ſind. Da alſo die Beobachtung eine raſchere Veränderung in den Winkelgeſchwindigkeiten anzeigt, ſo iſt einleuchtend, daß eine Veränderung der Entfernung allein ohne eine Veränderung der wirklichen Geſchwindigkeit, zur Erklärung derſelben unzulänglich iſt, und daß eine größere Annäherung der Sonne zur Erde in Verbindung ſtehen muß mit einer wirklichen Zunahme der wahren Geſchwindigkeit der Bewegung in ihrer Bahn.

295) Dieſe elliptiſche Form der Sonnenbahn, die excentriſche Lage der Erde in derſelben, und die ungleiche Geſchwindigkeit, mit welcher die Sonne dieſe Bahn durchläuft, alle dieſe Umſtände tragen dazu bei, die Berechnung ihrer Länge nach der Theorie (d. h. nach einer Kenntniß der Urſachen und der Natur ihrer Bewegung) ſchwierig zu machen, ja ſogar unmöglich, ſo lange das Geſetz ihrer wirklichen Geſchwindigkeit unbekannt bleibt. Dieſes Geſetz leuchtet aber nicht gleich unmittelbar hervor. Es zeigt ſich nicht mit einemmale, wie die elliptiſche Form der Bahn durch eine directe Vergleichung der Winkel und der Entfernungen, ſondern es erfordert eine aufmerkſame Erwägung der vollſtändigen Reihe von Beobachtungen, welche während eines ganzen Umlaufes geſammelt worden ſind. Nicht ohne ſehr ſchwierige und mühſame Rechnungen hat deshalb Keppler dieſes Geſetz entdeckt (welcher auch der erſte war, der die elliptiſche Form der Bahn erkannte), und in folgenden Ausdrücken bekannt gemacht: — Man denke

ſich eine Linie, welche beſtändig die als ſich bewegend betrachtete Sonne mit der als ruhend angenommenen Erde verbindet, ſo wird dieſe Linie (welche in der Aſtronomie der Radius Vector heißt), während ſich die Sonne in ihrer elliptiſchen Bahn bewegt, denjenigen Theil des ganzen Flächenraumes der Ellipſe beſchreiben, oder über ihn hinſtreichen, welcher zwiſchen ihren auf einander folgenden Lagen und dem entſprechenden elliptiſchen Bogen eingeſchloſſen iſt; und die Bewegung der Sonne wird von der Art ſeyn, daß von dem auf dieſe Weiſe umlaufenden Radius Vector gleiche Flächenräume in gleichen Zeiten beſchrieben werden, in welchem Theile des Umfanges der Ellipſe die Sonne ſich auch bewegen möge.

296) Daraus folgt nothwendig, daß die in ungleichen Zeiten beſchriebenen Flächenräume den Zeiten proportional ſeyn müſſen. So verhält ſich z. B. (Fig. 42.) die Zeit, in welcher die Sonne ſich von A nach B bewegt, zur Zeit, in welcher ſie ſich von C nach D bewegt, wie ſich verhält der Flächenraum des elliptiſchen Sectors AOB zum Flächenraume des Sectors DOC.

297) Die Umſtände der ſcheinbaren jährlichen Bewegung der Sonne laſſen ſich deshalb auf folgende Art zuſammenfaſſen: Sie findet ſtatt in einer Bahn, die in einer und derſelben Ebene liegt, welche durch den Mittelpunkt der Erde geht, die Ebene der Ekliptik heißt, und deren Projection am Himmel der unter dieſem Namen bekannte größte Kreis iſt. Die wahre Bahn in dieſer Ebene iſt aber nicht kreisrund, ſondern elliptiſch, und zwar ſo, daß die Erde nicht im Mittelpunkte, ſondern in dem einen Brennpunkte der Ellipſe ſteht. Die Excentricität dieſer Ellipſe beträgt 0,01679 in Theilen einer Einheit, welche gleich iſt der mittlern Entfernung, oder der Hälfte des längern Durchmeſſers der Ellipſe; und die Bewegung der Sonne im Umfange der Ellipſe geſchieht ſo, daß der Radius Vector gleiche Flächenräume der Ellipſe in gleichen Zeiten durchläuft.

298) Was wir hier angegeben haben, ſetzt keine Kenntniß der wirklichen Entfernung der Sonne von der

Erde voraus, folglich auch nicht eine Kenntniß der wahren Dimenſionen ihrer Bahn, oder des Sonnenkörpers ſelbſt. Um Aufklärung über dieſe Punkte zu erhalten, müſſen wir zuerſt in Erwägung ziehen, durch welche Mittel wir zu einer Kenntniß der Entfernung eines Objectes gelangen können, zu welchem uns kein Zutritt geſtattet iſt. Nun iſt es einleuchtend, daß ſeine Parallaxe allein uns über dieſen Punkt einigen Aufſchluß geben kann. Parallaxe kann man im Allgemeinen definiren als die Veränderung der ſcheinbaren Lage eines Objectes in Folge einer Veränderung der wahren Lage des Beobachters. Wenn PABQ (Fig. 4.) die Erde darſtellt, C ihren Mittelpunkt, S die Sone, und A, B zwei Standpunkte eines Beobachters, oder was auf eins hinauskommt, die Standpunkte von zwei Beobachtern, welche beide die Sonne S in demſelben Augenblicke beobachten: ſo wird der Beobachter A ſie in der Richtung ASa erblicken, und ſie auf einen Punkt a an der unendlich entfernten Sphäre der Fixſterne beziehen, während der Beobachter B ſie in der Richtung BSb erblickt und auf b bezieht. Der zwiſchen dieſen Richtungen eingeſchloſſene Winkel oder das Maaß des Himmelsbogens ab, um welchen der Ort der Sonne ſich verändert hat, iſt gleich dem Winkel ASB; und wenn dieſer Winkel nebſt der örtlichen Lage der Standpunkte A und B, mithin derjenige Theil AB der Erdoberfläche bekannt iſt, welcher zwiſchen dieſen Standpunkten liegt, ſo läßt ſich offenbar die Entfernung CS berechnen.

299) Parallaxe, im aſtronomiſchen Sinne des Wortes, hat indeſſen eine mehr techniſche Bedeutung. Sie beſchränkt ſich auf die Differenz der ſcheinbaren Lagen eines Himmelskörpers, wenn derſelbe von einem Standpunkte auf der Oberfläche der Erde, und von ihrem Mittelpunkte aus beobachtet wird. Der Mittelpunkt der Erde iſt der allgemeine Standpunkt, auf welchen alle aſtronomiſchen Beobachtungen bezogen werden; da wir aber von der Oberfläche aus beobachten, ſo wird eine Reduction auf den Mittelpunkt nothwendig, und der Be-

trag dieſer Reduction heißt Parallaxe. Wird alſo die Sonne vom Mittelpunkte der Erde in der Richtung CS, und von A auf der Oberfläche derſelben in der Richtung AS geſehen, ſo iſt der Winkel ASC, welcher von dieſen beiden Richtungen eingeſchloſſen wird, die Parallaxe für A, und ebenſo BSC die Parallaxe für B.

Parallaxe, in dieſer Bedeutung, kann durch das Beiwort tägliche, oder geocentriſche, unterſchieden werden von der jährlichen, oder heliocentriſchen, wovon weiter unten ein Mehreres.

300) Die Reduction wegen der Parallaxe erhält man alſo in irgend einem gegebenen Falle aus der Betrachtung des Dreiecks ACS, welches durch den Beobachter, den Mittelpunkt der Erde und den beobachteten Himmelskörper gebildet wird; und da die Seite CA in ihrer Verlängerung durch das Zenith des Beobachters geht, ſo ergiebt ſich, daß die Wirkung der Parallaxe, in dieſer ihrer techniſchen Bedeutung, immer darinn beſteht, den beobachteten Himmelskörper in einem Vertikalkreiſe zu deprimiren. Um den Betrag dieſer Depreſſion zu finden, giebt uns die ebene Trigonometrie folgende Proportion an die Hand:

CS verhält ſich zu CA, wie ſich verhält der Sinus von CAS oder der Sinus von ZAS zum Sinus von ASC.

301) Die Parallaxe für Himmelskörper, welche von der Erde gleich weit entfernt ſind, iſt demnach den Sinus ihrer Zenithabſtände proportional. Sie iſt folglich am größten, wenn der beobachtete Himmelskörper im Horizonte ſteht. Sie heißt alsdann die Horizontalparallaxe; und wenn dieſe bekannt iſt, ſo kann man, da kleine Bögen ihren Sinus proportional ſind, die Parallaxe für irgend eine gegebene Höhe leicht nach folgender Regel finden: —

Parallaxe = Horizontalparallaxe multiplicirt mit dem Sinus des Zenithabſtandes.

Die Horizontalparallaxe ergiebt ſich aus folgender Proportion: —

Die Entfernung des Sternes verhält ſich zum Halb-

meſſer der Erde, wie ſich verhält der Kreishalbmeſſer zum Sinus der Horizontalparallaxe.

Sie iſt deshalb bekannt, ſobald man das Verhältniß der Entfernung des Himmelskörpers zum Erdhalbmeſſer kennt; und umgekehrt, wenn wir durch irgend eine Beobachtungsmethode zur Kenntniß der Horizontalparallaxe eines Himmelskörpers gelangen können, ſo wird die Entfernung deſſelben in Einheiten, welche dem Halbmeſſer der Erde gleich ſind, bekannt.

302) Um dieſe allgemeine Lehre auf die Sonne anzuwenden, wollen wir uns zwei Beobachter, einen in der nördlichen, den andern in der ſüdlichen Hemiſphäre denken, deren Standpunkte in demſelben Meridiane liegen, und die an dem nämlichen Tage die Meridianhöhen des Mittelpunktes der Sonne beobachten. Hätte man auf dieſe Weiſe die ſcheinbaren Zenithabſtände der Sonne erhalten und ſie wegen der Strahlenbrechung corrigirt, ſo würde, wenn die Entfernung der Sonne derjenigen der Fixſterne gleich wäre, die Summe der ſolchergeſtalt gefundenen Zenithabſtände genau gleich ſeyn der Summe der nördlichen und ſüdlichen Breite der Beobachtungsorte; denn die in Frage ſtehende Summe würde dann gleich ſeyn dem Winkel ZCX, welches der Meridianabſtand der beiden Standorte durch den Aequator hindurch iſt. Da aber die Wirkung der Parallaxe an beiden Orten ſich darin äußert, die ſcheinbaren Zenithabſtände zu vergrößern, ſo wird ihre beobachtete Summe größer ſeyn, als die Summe der Breiten, und zwar um den ganzen Betrag der beiden Parallaxen, oder um den Winkel ASB. Dieſer Winkel wird demnach erhalten, wenn man die Summe der Breiten von derjenigen der Zenithabſtände abzieht; und hat man ihn einmal beſtimmt, ſo iſt die Horizontalparallaxe leicht zu finden, indem man dieſen Winkel mit der Summe der Sinus der beiden Zenithabſtände dividirt.

303) Wenn die beiden Standorte nicht genau in demſelben Meridiane liegen (welche Bedingung ſehr ſchwer zu erfüllen iſt), ſo läßt ſich daſſelbe Verfahren anwenden, ſobald man nur die Veränderung des wirklichen Zenithabſtandes der Sonne während der Zeit, in

welcher ſie von dem Meridiane des einen Standortes zu dem des andern gelangt, ſorgfaltig in Rechnung bringt. Dieſe Veränderung läßt ſich entweder aus den Tafeln über die Bewegung der Sonne, die ſich auf die Erfahrung einer langen Reihe von Beobachtungen gründen, oder durch wirkliche Beobachtung der Mittagshöhe der Sonne, mehrere Tage vor und nach demjenigen, an welchem die Beobachtungen wegen der Parallaxe angeſtellt werden, leicht ausmitteln. Je näher übrigens die Standorte einander in der Länge liegen, deſto kleiner iſt dieſer Zeitzwiſchenraum, folglich auch um ſo geringer der Betrag dieſer Correction; und um ſo weniger nachtheilig für die Genauigkeit des Endreſultates iſt deshalb alsdann irgend eine Unſicherheit in der täglichen Veränderung des Zenithabſtandes, die vielleicht in einer Unvollkommenheit der Sonnentafeln, oder in den Beobachtungen liegen möchte, welche zur Beſtimmung dieſer Veränderung angeſtellt wurden.

304) Die Horizontalparallaxe der Sonne hat man aus ſolchen Beobachtungen, wie ſie eben beſchrieben worden ſind, hergeleitet; ſie wurden auf Obſervatorien angeſtellt, welche in der Breite ſo weit als möglich von einander entfernt waren. Man hat ſie auch durch andere, noch weit feinere und einer viel größern Genauigkeit fähige Methoden, die weiter unten beſchrieben werden ſollen, ausgemittelt. Der auf dieſe Weiſe erhaltene Werth derſelben beträgt etwa 8″, 6. So klein auch dieſe Größe iſt, ſo unterliegt es doch keinem Zweifel, daß ſie als eine ziemlich richtige Annäherung an die Wahrheit betrachtet werden darf; und in Uebereinſtimmung hiermit müſſen wir alſo annehmen, daß ſich die Sonne in einer mittlern Entfernung von uns, von nicht weniger als 23984 Erdhalbmeſſern, oder ungefähr 95 Millionen engliſchen Meilen befinde.

305) Daß in einer ſo ungeheuern Entfernung die Sonne uns noch in der Größe erſcheint, wie wir ſie wirklich erblicken, und durch ihre Wärme und ihr Licht einen ſo mächtigen Einfluß auf unſern Zuſtand ausübt, giebt uns einen ſehr hohen Begriff von ihrer wirklichen Größe, und von dem Maaßſtabe, nach welchem ſolche

namhaften Proceſſe, durch die ſie in den Stand geſetzt wird, uns reichlich und unablåßig mit den genannten Elementen zu verſorgen, in ihr vor ſich gehen. Ueber ihre wirkliche Grðße kønnen wir uns nicht im Zweifel befinden, da wir ihre Entfernung, ſo wie den Winkel kennen, unter welchem uns ihr Durchmeſſer erſcheint. Ein Himmelskørper in einer Entfernung von 95 Millionen engliſchen Meilen, der uns unter einem Winkel von 32′ 3″ erſcheint, muß einen wirklichen Durchmeſſer von 882000 engliſchen Meilen haben. Dieſes iſt denn auch der Durchmeſſer dieſer erſtaunlichen Kugel. Wenn wir ihn mit demjenigen vergleichen, den wir bereits für unſere Erde ausgemittelt haben, ſo werden wir finden, daß die Sonne im Durchmeſſer ſich zur Erde verhålt, wie 111 ½ zu 1, und im Volumen, wie 1,384,472 zu 1.

306) Es iſt kaum møglich, es zu vermeiden, unſere Vorſtellung eines Kørpers von beſtimmter Kugelgeſtalt und ſo enormen Dimenſionen auch mit irgend einem entſprechenden Attribute maſſiver Beſchaffenheit und materieller Feſtigkeit zu verbinden. Daß die Sonne nicht blos ein Phantom, ſondern ein wirklicher Kørper von ganz eigenthümlicher Bauart und Einrichtung ſey, dieß ſehen wir mit unſern Fernrøhren ganz deutlich. Wir erkennen durch ſie dunkle Flecke auf der Oberflåche der Sonne, die langſam ihre Orte und Geſtalten verändern; und dadurch, daß die Aſtronomen die Lage dieſer Flecke zu verſchiedenen Zeiten genau beobachteten, haben ſie gefunden, daß die Sonne ſich um eine Axe dreht, die unter einem unverånderlichen Winkel von 82° 40′ gegen die Ebene der Ekliptik geneigt iſt, und daß ſie in einem Zeitraume von 25 Tagen, in derſelben Richtung, wie die tågliche Umdrehung der Erde, d. h. von Weſten nach Oſten, ſich einmal umdrehe. Hier håtten wir alſo eine Analogie mit unſerer Erde; die langſamere und majeſtåtiſchere Bewegung entſpricht nur grøßeren Dimenſionen; ſie giebt uns aber die Ueberzeugung, daß hier åhnliche mechaniſche Geſetze vorwalten, und wenigſtens inſofern eine gemeinſchaftliche Natur ſtattfinde, als man ſolches aus der Exiſtenz der Tråg-

heit und der Folgſamkeit gegen Kraft entnehmen kann. In demſelben Verhältniſſe nun, in welchem wir unſere Vorſtellung von dieſem unermeßlichen Volumen mit dem Attribute der Trägheit oder der Schwere ausſtatten, wird es uns ſchwer, uns den Kreislauf einer ſolchen Maſſe um einen verhältnißmäßig ſo kleinen Körper, wie die Erde, zu denken, ohne daß ſie entweder die letztere nachzieht und ihren Ort verändert, wenn ſie mit ihr durch irgend ein unſichtbares Band verbunden iſt, oder daß ſie, wenn dieſes nicht der Fall iſt, ihren Lauf allein im Raume verfolgt und die Erde zurückläßt. Wenn wir durch ein Band zwei Steine mit einander verbinden und ſie emporſchleudern, ſo ſehen wir ſie um einen Punkt zwiſchen ihnen ſich umdrehen, welcher ihr gemeinſchaftlicher Schwerpunkt iſt; wenn aber einer derſelben weit ſchwerer iſt, als der andere, ſo wird dieſer gemeinſchaftliche Schwerpunkt dem erſteren verhältnißmäßig näher, und ſogar innerhalb ſeiner Oberfläche liegen, ſo daß der kleinere ſich alsdann in der That um den größern herum drehen wird, welch letzterer verhältnißmäßig nur wenig aus ſeiner Stelle gerückt wird.

307) Ob die Erde um die Sonne, die Sonne um die Erde, oder beide um ihren gemeinſchaftlichen Schwerpunkt ſich bewegen, macht keinen Unterſchied aus, wenn wir blos die Erſcheinungen berückſichtigen, vorausgeſetzt, daß wir die Sterne entfernt genug annehmen, um durch eine ſolche der Erde zugeſchriebene Bewegung keine merkliche ſcheinbare parallactiſche Ortsveränderung zu erleiden. Ob ſie dieſe erleiden, oder nicht, muß immer ein Gegenſtand der Unterſuchung ſeyn; da aber kein meßbarer Betrag einer ſolchen Ortsveränderung vorhanden iſt, ſo läßt ſich hieraus nichts anderes folgern, als daß der Maaßſtab der Sternenwelt ſo groß iſt, daß die gegenſeitige Bahn der Erde und der Sonne, mit ihm verglichen, als ein unmerklicher Punkt betrachtet werden kann. Nehmen wir nun nach den Geſetzen der Dynamik an, daß zwei mit einander verbundene und im freien Raume einander umkreiſende Körper ſich wirklich um ihren gemeinſchaftlichen Schwerpunkt umdrehen, welcher durch ihre gegen-

ſeitige Wirkung für ſich ſelbſt unbeweglich bleibt, ſo wird es ein Gegenſtand weiterer Unterſuchung, wo zwiſchen ihnen dieſer Schwerpunkt liege. Die Mechanik lehrt uns nun, daß dieſer Ort die gegenſeitige Entfernung derſelben in dem umgekehrten Verhältniſſe ihrer Gewichte oder Maſſen theilt; und Berechnungen, die ſich auf Erſcheinungen gründen, von denen weiter unten ausführlicher die Rede ſeyn wird, lehren uns, daß dieſes Verhältniß bei der Sonne und der Erde, in Zahlen ausgedrückt, dasjenige von 354936 zu **1** iſt, in welchem Verhältniſſe alſo die Sonne ſchwerer iſt, als die Erde. Daraus folgt denn, daß der gemeinſchaftliche Punkt, um welchen ſie ſich beide drehen, von dem Mittelpunkte der Sonne nur 267 engliſche Meilen, oder ungefähr $1/_{3300}$ ihres eigenen Durchmeſſers, entfernt iſt.

308) Künftig müſſen wir alſo in Uebereinſtimmung mit dem Obigen und mit der Anſicht, welche Copernicus über unſer Sonnenſyſtem aufgeſtellt hat, die Sonne als den verhältnißmäßig bewegungsloſen Mittelpunkt betrachten lernen, um welchen die Erde jährlich eine elliptiſche Bahn beſchreibt, von den Dimenſionen und der Excentricität, und mit einem Geſchwindigkeitsgeſetze, wie ſie oben angegeben worden ſind.*) Wir müſſen die

---

*) Zuſatz. Den directeſten, vollkommen mathematiſch ſtrengen Beweis der Wahrheit des Satzes, daß nicht die Sonne um die Erde, ſondern die Erde um die Sonne ihre jährliche Bahn beſchreibt, liefert offenbar die in den Art. 276 — 278 erläuterte Erſcheinung der Aberration der Firſterne, in Folge welcher jeder einzelne Stern während eines Jahres (d. h. während eines einmaligen Umlaufs der Erde um die Sonne) ſcheinbar um ſeinen mittleren Ort, als Mittelpunkt, einen kleinen, mit der Ebene der Ekliptik parallel liegenden, Kreis von etwa 41 Secunden Durchmeſſer beſchreibt, der aber, allgemein genommen, wegen ſeiner gegen unſere Geſichtslinie geneigten Lage, uns als eine Ellipſe (die ſogenannte Aberrationsellipſe) erſcheint, deren große Axe der Durchmeſſer jenes Kreiſes, nämlich 41 Secunden iſt, und deren kleine Axe man erhält, wenn man dieſen Durchmeſſer mit dem Sinus der Breite des Sterns multi-

Sonne in einem der Brennpunkte dieſer Ellipſe anneh- men, von wo aus ſie ruhig nach allen Seiten Licht

---

plicirt. Dieſe ſcheinbare jährliche Kreisbewegung der Fixſterne könnte nicht ſtattfinden, wenn die Erde, von welcher aus wir die Sterne beobachten, in Ruhe wäre, und dagegen die Sonne ſich während eines Jahres um die Erde bewegte, indem ſie ja eben, nach der in den oben angeführten Artikeln gegebenen Erläuterung, in der Vereinigung der Fortbewegung unſeres Auges, alſo der Erde, mit dem Laufe des Lichtſtrahls ihren Grund hat. Gäbe es keine Aberration, ſo würde man daraus ſchließen können, entweder, daß die Erde ſich in abſoluter Ruhe befinde, oder, daß die Schnelligkeit des Lichtſtrahles im Vergleich zur Geſchwindigkeit der Erdbewegung unendlich groß ſey. Da aber die Aberration in der vorhin angegebenen Art und Weiſe vorhanden iſt, ſo folgt daraus unwiderſprechlich, daß die Erde einen jährlichen Kreislauf (und zwar augenſcheinlich um die Sonne) vollbringe, und daß die Schnelligkeit des Lichtſtrahles zur Geſchwindigkeit der Erdbewegung in einem endlichen Verhältniſſe ſtehe, welch letzteres ſich aus der Größe der Aberrationsellipſe ergiebt, woraus alsdann auch, da die Geſchwindigkeit der Erdbewegung bekannt iſt, die wirkliche Geſchwindigkeit des Lichtſtrahls hergeleitet werden kann. Wäre man vor ein paar Jahrhunderten im Beſitze ſolcher Inſtrumente geweſen, mit denen man die jährliche Aberrationsellipſe der Fixſterne mit Sicherheit hätte beobachten können, ſo würden alle damaligen Streitigkeiten über die Bewegung oder Nichtbewegung der Erde um die Sonne mit einemmale entſchieden geweſen ſeyn; in der jährlichen Kreisbewegung eines ſehr nahe am Pole der Ekliptik gelegenen Fixſterns hätte man ſogleich ein treues Bild der von der Erde alljährlich um die Sonne beſchriebenen Bahn gehabt. — So wie die jährliche Bewegung der Erde um die Sonne die jährliche Aberration der Fixſterne erzeugt, ſo entſteht, nach den nämlichen Grundſätzen, auch aus der täglichen Umdrehung der Erde um ihre Axe noch eine andere Aberration, die man die tägliche Aberration nennt, und welche am Aequator, wo die Punkte auf der Erdoberfläche ſich am ſchnellſten im Raume fortbewegen, offenbar am größten iſt. Da indeſſen dieſe Rotationsgeſchwindigkeit der Punkte auf der Oberfläche der Erde bei weitem (unter dem Aequator ſelbſt etwa 65mal) kleiner iſt, als die Geſchwindigkeit der jährlichen Bewegung der Erde um die Sonne, ſo bringt ihre Verbindung mit der Schnelligkeit des Lichtſtrahls, für Orte unter dem Aequator, nur eine Aberrationsellipſe von 6/10 Secunde Durchmeſſer, alſo faſt gar keine ſcheinbare Orts-

und Wärme verbreitet, während die Erde ſie umkreiſet und zu den verſchiedenen Zeiten des Jahres und Tages eine verſchiedene Stellung gegen ſie annimmt, dadurch aber eben die Veränderungen von Tag und Nacht, von Sommer und Winter erfährt, die wir genießen.

309) Bei dieſer jährlichen Bewegung der Erde behält ihre Axe immer dieſelbe Richtung, als ob dieſe Bewegung in der Bahn gar nicht ſtatt fände; und ſie wird, ſich ſelbſt parallel, herumgeführt, indem ſie immer nach demſelben verſchwindenden Punkte an der Fixſternſphäre gerichtet bleibt. Dadurch entſtehen die verſchiedenen Jahreszeiten, wie jetzt erklärt werden ſoll. Dabei werden wir (aus einem Grunde, der ebenfalls erläutert werden wird) die Ellipticität der Bahn nicht berückſichtigen, und dieſelbe vielmehr als einen Kreis betrachten, in deſſen Mittelpunkte die Sonne ſteht.

310) Es ſeyen alſo S (Fig. 44.) die Sonne, und A, B, C, D vier Stellungen der Erde in ihrer Bahn, die um 90° von einander entfernt ſind; und zwar A diejenige, welche ſie am 21ſten März oder zur Zeit der Frühlingsnachtgleiche hat; B diejenige am 21ſten Junius oder im Sommerſolſtitium; C diejenige am 21ſten September oder zur Zeit der Herbſtnachtgleiche, und D diejenige am 21ſten December oder zur Zeit des Winterſolſtitiums. In jeder dieſer Stellungen bezeichne PQ die Erdaxe, um welche ihre tägliche Umdrehung, ohne

---

veränderung der Fixſterne, hervor; wenigſtens iſt dieſe Größe ſo klein, daß ſie ſich in den unvermeidlichen Beobachtungsfehlern verliert. Aus dieſem Grunde kann man alſo aus der täglichen Aberrationsellipſe der Fixſterne nicht einen eben ſo evidenten Beweis für die Rotationsbewegung der Erde herleiten, wie man es aus der weit größeren und augenfälligeren jährlichen Aberrationsellipſe für die jährliche Bewegung der Erde um die Sonne im Stande iſt; ſo daß man gewiſſermaßen behaupten kann, daß der jährliche Umlauf der Erde um die Sonne eigentlich mathematiſch ſtrenger erwieſen iſt, als die Bewegung der Erde um ihre Axe, für welche letztere jedoch hinlängliche anderweitige überzeugende Beweiſe vorhanden ſind.

N.

Einmiſchung der jährlichen Bewegung in ihrer Bahn, erfolgt. Da nun die Sonne nur die eine Hälfte der Erdoberfläche auf einmal erleuchten kann, nämlich die ihr zugewendete, ſo bezeichnen die ſchattirten Theile der Kugel in ihren verſchiedenen Stellungen die dunkele, und die nicht ſchattirten die erleuchtete Hälfte der Erdoberfläche. In der Stellung A fallen nun die Sonnenſtrahlen vertikal auf den Durchſchnitt des Aequators EF mit der Ekliptik HG. Die Sonne ſteht deshalb im Aequinoctium, und in dieſer Lage fallen beide Pole P, Q an die äußerſten Grenzen der erleuchteten Seite. Bei dieſer Stellung iſt es deshalb auf der halben nördlichen und auf der halben ſüdlichen Hemiſphäre zu gleicher Zeit Tag; und da die Erde ſich um ihre Axe dreht, ſo beſchreibt jeder Punkt ihrer Oberfläche die eine Hälfte ſeines Tageslaufes im Sonnenlichte, und die andere Hälfte in der Dunkelheit; mit andern Worten, die Dauer von Tag und Nacht iſt hier auf der ganzen Erde gleich, daher der Ausdruck Nachtgleiche. Daſſelbe gilt auch für die Herbſtnachtgleiche in der Stellung C.

311) B iſt die Stellung der Erde zur Zeit des nördlichen oder Sommerſolſtitiums. Hier iſt der Nordpol P und ein beträchtlicher Theil der Erdoberfläche in ſeiner Nachbarſchaft, bis nach B, innerhalb der erleuchteten Hälfte. Indem die Erde in dieſer Lage ſich um ihre Axe dreht, bleibt deshalb dieſer ganze Theil beſtändig erleuchtet; folglich iſt in dieſem Punkte der Erdbahn, oder zu dieſer Jahreszeit, am Nordpol beſtändiger Tag, und ſo auch in der ganzen Erdgegend, welche dieſen Pol bis nach B umgiebt, d. h. bis auf 23° 28′ vom Pole, oder bis auf den Kreis, den man in der Geographie den nördlichen Polarkreis nennt. Der entgegengeſetzte oder der Südpol Q, nebſt der ganzen Gegend, welche innerhalb des ſüdlichen Polarkreiſes, d. h. bis auf 23° 28′ vom Südpole, liegt, iſt dagegen um dieſe Jahreszeit während der ganzen täglichen Umdrehung der Erde in Dunkelheit gehüllt, ſo daß es hier beſtändig Nacht iſt.

312) Was den Theil der Erdoberfläche betrifft, welcher zwiſchen dem nördlichen und dem ſüdlichen Po-

larkreiſe liegt, ſo iſt es nicht weniger einleuchtend, daß, je näher ein Punkt dem Nordpole gelegen iſt, deſto größer auch der Theil ſeines täglichen Laufes ſeyn müſſe, welcher in der erleuchteten Hemiſphäre zurück gelegt wird, und deſto kleiner derjenige in der dunkeln, oder mit andern Worten, um deſto länger wird ſein Tag und um deſto kürzer ſeine Nacht ſeyn. An jedem Orte nördlich vom Aequator wird alſo der Tag von mehr und die Nacht von weniger, als zwölfſtündiger Dauer, ſeyn, und ſüdlich vom Aequator umgekehrt. Alle dieſe Erſcheinungen ſind gerade umgekehrt, ſobald die Erde in den entgegengeſetzten Punkt D ihrer Bahn gekommen iſt.

313) Nun hängt die Temperatur irgend eines Theiles der Erdoberfläche hauptſächlich, wo nicht ganz, davon ab, daß er den Sonnenſtrahlen exponirt wird. Wenn die Sonne über dem Horizonte irgend eines Ortes ſteht, ſo empfängt dieſer Ort Wärme; ſteht ſie unter ihm, ſo giebt derſelbe die Wärme aus durch den Proceß der ſogenannten Ausſtrahlung; und die ganzen im Jahre empfangenen und ausgegebenen Quantitäten müſſen an jedem Orte einander aufwiegen, oder das Gleichgewicht der Temperatur könnte nicht erhalten werden. Wenn deshalb die Sonne länger als 12 Stunden über dem Horizonte eines Ortes und kürzere Zeit unter demſelben bleibt, ſo wird die allgemeine Temperatur dieſes Ortes die mittlere überſchreiten, und das Gegentheil wird ſtatt finden, wenn ſie weniger als 12 Stunden über dem Horizonte iſt. Da ſich nun die Erde von A nach B bewegt, ſo nimmt, da alsdann in der nördlichen Hemiſphäre die Tage länger und die Nächte kürzer werden, auch die Temperatur jedes Theiles dieſer Hemiſphäre zu, und wir treten aus dem Frühling in den Sommer, während gleichzeitig in der ſüdlichen Hemiſphäre das Umgekehrte ſtatt findet. So wie die Erde von B nach C weiter rückt, nähern ſich die Tage und Nächte wiederum der Gleichheit; der Ueberſchuß der Temperatur in der nördlichen Hemiſphäre über ihren mittlern Stand nimmt eben ſo ab, wie das Deficit derſelben in der ſüdlichen; und zur Zeit der Herbſtnacht-

gleiche C iſt wiederum der mittlere Zuſtand eingetreten. Von da nach D und zuletzt wieder bis A müſſen offenbar alle die nämlichen Erſcheinungen, nur umgekehrt, ſtatt finden: es iſt nämlich jetzt Winter in der nördlichen und Sommer in der ſüdlichen Hemiſphäre.

314) Dieſes alles ſtimmt genau mit der Erfahrung überein. Der beſtändige Tag innerhalb der Polarkreiſe im Sommer und die Nacht im Winter, die allgemeine Zunahme der Temperatur und der Tageslänge, ſo wie ſich die Sonne dem erhabenen Pole nähert, und die entgegengeſetzten Jahreszeiten in der nördlichen und ſüdlichen Hemiſphäre, alles dieſes ſind zu bekannte Thatſachen, um noch einer weitern Erläuterung zu bedürfen. Die Stellungen A und C der Erde entſprechen, wie wir geſagt haben, den Nachtgleichen, und diejenigen von B und D den Solſtitien. Dieſer Ausdruck muß erklärt werden. Wenn wir in irgend einem Punkte X der Bahn die Erdaxe XP und XS nach der Sonne hinziehen, ſo iſt der Winkel PXS offenbar der Polarabſtand der Sonne. Nun erreicht dieſer Winkel ſein Maximum in der Stellung D, und ſein Minimum in der Stellung B, indem er in der erſteren $= 90^\circ + 23^\circ\ 28' = 113^\circ\ 28'$, und in der letzteren $= 90^\circ - 23^\circ\ 28' = 66^\circ\ 32'$ iſt. In dieſen Punkten hört die Sonne auf, ſich dem Pole zu nähern, oder ſich von demſelben zu entfernen, und daher der Name Solſtitium, oder auch Sonnenwende, indem ſich die Sonne alsdann wieder dem Aequator zuwendet.

315) Die elliptiſche Geſtalt der Erdbahn trägt nur ſehr wenig zur Veränderung der Temperatur bei, welche der Verſchiedenheit der Jahreszeiten entſpricht. Dieſe Behauptung mag ſich vielleicht auf den erſten Blick nicht gut mit dem zu vertragen ſcheinen, was uns von den Geſetzen der Wärmemittheilung von einem ſtrahlenden Körper in veränderlicher Entfernung bekannt iſt. Da die Wärme, wie das Licht, von der Sonne gleichmäßig nach allen Richtungen ausgeſendet wird, und ſich über die ganze Oberfläche einer Kugel verbreitet, die an Ausdehnung immer zunimmt, je größer die Entfernungen vom Mittelpunkte werden, ſo muß ihre Inten-

ſität in dem umgekehrten Verhältniſſe der Oberfläche dieſer Kugel, d. h. im umgekehrten Verhältniſſe des Quadrates der Entfernung, ſich ändern. Aber wir haben (Art. 293.) geſehen, daß dieſes auch das Verhältniß iſt, in welchem die Winkelgeſchwindigkeit der Erde um die Sonne ſich verändert. Hieraus ergiebt ſich, daß der augenblickliche Zufluß der Wärme, den die Erde von der Sonne empfängt, genau in dem Verhältniſſe der Winkelgeſchwindigkeit ſich verändert, d. h. in dem Verhältniſſe der augenblicklichen Zunahme der Länge; woraus folgt, daß gleiche Wärmequantitäten von der Erde aufgenommen werden, während ſie gleiche Winkel um die Sonne beſchreibt, in welchem Theile der Ellipſe auch dieſe Winkel liegen mögen.

S bezeichne in Fig. 45. die Sonne, AQMP die Bahn der Erde, A den nächſten Punkt derſelben an der Sonne, oder das Perihelium der Bahn, M den entfernteſten Punkt, oder das Aphelium, und folglich ASM die Axe der Ellipſe. Ferner ſey die Bahn durch eine gerade Linie PSQ, welche durch die Sonne nach irgend einer Richtung gezogen iſt, in zwei Segmente getheilt. Nehmen wir nun an, die Erde durchlaufe ihre Bahn in der Richtung PAQMP, ſo wird ſie 180° in der Länge zurückgelegt haben, wenn ſie von P bis nach Q, und eben ſo viel, wenn ſie von Q nach P gekommen iſt.

Aus dem, was vorhin gezeigt worden iſt, ergiebt ſich alſo, daß der Zufluß der Wärme von der Sonne in den beiden Segmenten gleich iſt, in welcher Richtung auch die gerade Linie PSQ gezogen wird. Die beiden Segmente werden allerdings in ungleichen Zeiten durchlaufen, nämlich dasjenige, in welchem das Perihelium A liegt, in einer kürzern, und das andere in einer längern Zeit, und zwar im Verhältniſſe ihrer ungleichen Flächenräume; aber die größere Nähe der Sonne in dem kleineren Segmente wird durch den raſcheren Lauf der Erde in demſelben vollkommen compenſirt, und auf dieſe Weiſe wird, ſo zu ſagen, ein Gleichgewicht der Wärme erhalten. Ohne dieſen Umſtand würde die Excentricität der

Bahn einen weſentlichen Einfluß auf den Uebergang der Jahreszeiten äußern. Die Veränderlichkeit der Entfernung beläuft ſich bis auf nahe $^1/_{30}$ ihrer mittleren Größe, und folglich die Veränderlichkeit in der directen Erwärmungskraft der Sonne aufs Doppelte, oder auf $^1/_{15}$ des Ganzen. Nun liegt das Perihelium der Bahn nahe an dem Orte des nördlichen Winterſolſtitiums, ſo daß, ohne die vorhin beſchriebene Compenſation, dieſer Umſtand die Wirkung haben würde, den Unterſchied des Sommers und Winters in der ſüdlichen Halbkugel zu vergrößern und in der nördlichen zu vermindern, wodurch eine heftigere Abwechſelung des Climas in der erſteren Halbkugel und eine Annäherung zu einem beſtändigen Frühling in der letzteren entſtehen würde. Wie ſich aber die Sache wirklich verhält, giebt es keine ſolche Ungleichheit, ſondern es iſt beiden Halbkugeln eine gleichmäßige und unpartheiiſche Vertheilung des Lichtes und der Wärme zu Theil geworden. *)

316) Der große Schlüſſel zur Vereinfachung der Vorſtellungen in der Aſtronomie, und überhaupt in allen Wiſſenſchaften, wo die Bewegung mit ins Spiel kommt, beſteht darin, jede Bewegung, als auf Punkte bezogen, zu betrachten, die entweder permanent feſt ſind, oder doch wenigſtens von der Art, daß ihre Bewegungen zu klein ſind, um unſere Begriffe weſentlich zu ſtören oder zu verwirren. Bei der Annahme dieſer primären Beziehungspunkte müſſen wir auch ſo viel als möglich dahin zu ſtreben ſuchen, ſolche auszuwählen, welche einfache und ebenmäßige geometriſche Beziehungen ihrer Lage zu den Curven beſitzen, die von den in Bewegung befindlichen Theilen eines Körperſyſtemes beſchrieben werden. Solche Punkte eignen ſich eben deshalb dazu, die Stelle natürlicher Mittelpunkte zu vertreten, und bequeme Anhaltspunkte für Verſtand und Theorie zu gewähren. Nachdem wir gelernt haben, der Erde eine kreisförmige Bewegung zuzuſchreiben, verliert ſie wie-

---

*) Siehe Geological Transactions 1832. „On the Astronomical Causes whichmay influence Geological Phenomena“, vom Verfaſſer dieſes Werkes.

derum dieſe Eigenſchaft, welche auf die Sonne, als den feſten Mittelpunkt, übergeht, um welchen ſie ihre Bahn durchläuft. Wie wir durch die Anwendung der täglichen Parallaxe gelernt haben, uns, wenn wir durch die tägliche Bewegung der Erde in unſeren Unterſuchungen geſtört werden, in Gedanken von unſerem Beobachtungsorte auf der Oberfläche der Erde in den Mittelpunkt derſelben zu verſetzen: gerade ſo würden wir, wenn wir die Bewegungen der Planeten erforſchen wollen, uns immer durch die Umlaufsbewegung unſeres Geſichtspunktes geſtört finden, wenn wir nicht durch Berückſichtigung der jährlichen oder heliocentriſchen Parallaxe, wie man ſie nennen kann, uns beſtimmen ließen, alle unſere Beobachtungen dieſer Planeten auf den Mittelpunkt der Sonne, oder vielmehr auf den gemeinſchaftlichen Schwerpunkt der Sonne und der anderen Himmelskörper zu beziehen, welche mit derſelben in unſerem Syſteme verbunden ſind. Daraus entſteht der Unterſchied zwiſchen dem geocentriſchen und heliocentriſchen Orte eines Himmelskörpers. Erſterer bezieht die Lage desſelben im Raume auf eine imaginäre Kugel von unendlichem Halbmeſſer, deren Mittelpunkt der Mittelpunkt der Erde iſt; letzterer bezieht ſie auf eine mit der Sonne concentriſche Kugel. Wenn wir alſo von heliocentriſchen Längen und Breiten der Himmelskörper ſprechen, ſo denken wir uns den Beobachter in die Sonne verſetzt, und beziehen ſie durch Kreiſe, welche ſenkrecht auf der Ebene der Ekliptik ſtehen, auf den größten Kreis am Himmel, den die unendliche Ausdehnung dieſer Ebene an demſelben beſchreibt.

317) Derjenige Punkt an der imaginären concaven Oberfläche eines unendlichen Himmels, auf welchen ein Beobachter in der Sonne die Erde bezieht, muß alſo demjenigen diametral gegenüber liegen, auf welchen ein Beobachter auf der Erde den Mittelpunkt der Sonne bezieht; die heliocentriſche Breite der Erde iſt folglich immer $=0$, und ihre heliocentriſche Länge iſt immer der geocentriſchen Länge der Sonne $+ 180^{\circ}$ gleich. Die heliocentriſchen Nachtgleichen und Solſtitien ſind

deshalb den geocentriſchen ganz gleich; und um uns eine klare Vorſtellung von denſelben zu machen, brauchen wir uns nur eine Ebene zu denken, welche, dem Erdäquator parallel, durch den Mittelpunkt der Sonne geht und ſich nach allen Seiten unendlich ausdehnt. Die Durchſchnittslinie dieſer Ebene mit der Ekliptik iſt die Linie der Nachtgleichen, und die Solſtitien ſind von derſelben 90° entfernt.

318) Die Lage der großen Axe der Erdbahn iſt ein Gegenſtand von großer Wichtigkeit. Es ſey in Fig. 45. ECLI die Ekliptik, E die Frühlingsnachtgleiche, L die Herbſtnachtgleiche, d. h. die Punkte, auf welche die Erde von der Sonne aus bezogen wird, wenn ihre heliocentriſchen Längen respective 0° und 180° ſind. Nehmen wir an, die Bewegung der Erde geſchehe in der Richtung ECLI, ſo betrug im Jahre 1800 der Winkel ESA oder die Länge des Periheliums 99° 30′ 5″. Wir ſagen im Jahre 1800, weil die Lage des Periheliums durch die Einwirkung von Urſachen, die weiter unten erklärt werden ſollen, in der That einer außerordentlich langſamen Veränderung von ungefähr 12 Sekunden jährlich nach Oſten zu unterworfen iſt, wodurch in einer unermeßlich langen Zeitperiode die Axe ASM der Erdbahn um den ganzen Umfang der Ekliptik herumgeführt wird. Aber dieſe Bewegung, wie auch noch manche andere kleine Aenderungen, laſſen wir für jetzt unberückſichtigt; wir werden wieder darauf zurückkommen, wenn der Leſer dahin gelangt iſt, ſie beſſer zu verſtehen.

319) Wäre die Erdbahn ein Kreis, welcher mit gleichförmiger Geſchwindigkeit um die Sonne, als den Mittelpunkt deſſelben, beſchrieben würde, ſo könnte nichts leichter ſeyn, als den Ort der Erde für irgend eine Zeit in Bezug auf die Linie der Nachtgleichen, oder ihre Länge, zu berechnen; denn man brauchte alsdann nur folgende Proportion in Zahlen auszudrücken: Wie ſich verhält ein Jahr zur verfloſſenen Zeit, ſo verhalten ſich 360° zu dem in dieſer Zeit beſchriebenen Längenbogen. Die ſo berechnete Länge heißt in der Aſtronomie die mittlere Länge der Erde. Weil aber die Erd-

bahn weder ein Kreis iſt, noch auch gleichförmig beſchrieben wird, ſo giebt uns dieſe Regel nicht den wahren Ort in der Bahn für irgend einen beſtimmten Augenblick an. Da jedoch die Excentricität und mithin die Abweichung von einem Kreiſe klein iſt, ſo wird der wahre Ort niemals ſehr weit von dem auf dieſe Art beſtimmten abweichen, (welchen letzteren man der Unterſcheidung wegen, den mittlern Ort nennt) und der erſtere kann jederzeit aus dem letztern gefunden werden, durch Anbringung einer Correction oder Gleichung (wie man es nennt), deren Betrag nicht ſehr groß und deren Berechnung eine rein geometriſche Aufgabe iſt, indem ſie von der gleichförmigen Beſchreibung der Flächenräume während des Laufes der Erde um die Sonne abhängt. Denn da in der elliptiſchen Bewegung, nach dem oben angeführten Keppler'ſchen Geſetze, die Flächenräume, nicht aber die Winkel, gleichförmig beſchrieben werden, ſo muß die Proportion jetzt ſo ausgedrückt werden: Ein Jahr verhält ſich zur verfloſſenen Zeit, wie ſich der ganze Flächenraum der Ellipſe zum Flächenraume des Sectors verhält, welchen der Radius Vector in dieſer Zeit beſchrieben hat. Dieſer Flächenraum wird deshalb bekannt, und es iſt dann, wie oben bemerkt worden, eine rein geometriſche Aufgabe, den Winkel an der Sonne (ASP, Fig. 45.) zu beſtimmen, welcher irgend einem gegebenen Bruchtheile (APS) des Flächenraumes der ganzen Ellipſe entſpricht. Angenommen, wir rechnen vom Perihelium A an, ſo wird der Winkel ASP anfangs raſcher zunehmen, als die mittlere Länge, und ſie deshalb an Größe während des ganzen Halbumlaufes von A nach M übertreffen, oder mit andern Worten, der wahre Ort wird vor dem mittleren voraus ſeyn. Bei M wird die eine Hälfte des Jahres verfloſſen und die eine Hälfte der Bahn beſchrieben ſeyn, mag ſie eine kreisförmige oder elliptiſche Geſtalt haben. Hier fallen alſo der mittlere und der wahre Ort zuſammen; aber in der ganzen anderen Hälfte der Bahn von M nach A wird der wahre Ort hinter dem mittlern zurück ſeyn, weil bei M die Winkelbewegung

am langſamſten iſt, und alſo der wahre Ort von dieſem Punkte an hinter dem mittlern zurückzubleiben anfängt, demſelben indeſſen wieder nachkommt, wenn er ſich A nähert, wo er ihn abermals einholt.

320) Die Größe, um welche die wahre Länge der Erde von der mittleren differirt, heißt die Mittelpunktsgleichung, und ſie wird während des halben Jahres, in welchem die Erde von A nach M läuft, zu der mittleren Länge addirt, indem ſie bei A mit 0° 0′ 0″ beginnt, ihr Maximum erreicht und bei M wieder bis auf Null abnimmt; nachher wird ſie ſubtrahirt, erreicht ein ſubtractives Maximum, zwiſchen M und A, und nimmt bei A wieder bis auf Null ab. Ihr Maximum, ſowohl das additive als das ſubtractive, iſt 1° 55′33″,3.

321) Bringt man ſonach an die mittlere Länge der Erde die Mittelpunktsgleichung an, welche einer gegebenen Zeit entſpricht, für die wir den Ort der Erde zu beſtimmen wünſchen, ſo wird die wahre Länge derſelben bekannt; und da die Sonne von der Erde aus immer in einer um 180° verſchiedenen Länge, als die Erde von der Sonne aus, geſehen wird, ſo ergiebt ſich auch auf dieſe Weiſe der wahre Ort der Sonne in der Ekliptik. Die Berechnung der Mittelpunktsgleichung geſchieht durch eine für dieſen Zweck ausgearbeitete Tafel, die man in allen „Sonnentafeln“ findet.

322) Das Maximum der Mittelpunktsgleichung hängt nur von der Eklipticität der Bahn ab, und kann durch die Excentricität ausgedrückt werden. Umgekehrt alſo kann auch die letztere Größe, wenn die erſtere ſich durch Beobachtung finden läßt, aus dieſer abgeleitet werden, weil, wenn das Geſetz oder der numeriſche Zuſammenhang zwiſchen zwei Quantitäten bekannt iſt, die eine immer durch die andere beſtimmt werden kann. Durch fleißige Beobachtung der Meridiandurchgänge der Sonne vermögen wir nun, für jeden Tag genau ihre gerade Aufſteigung zu beſtimmen, und daraus ihre Länge zu folgern (Art. 260.) Hiernächſt iſt es leicht, den Winkel anzugeben, um welchen dieſe beobachtete Länge mehr, oder weniger, als die mittlere beträgt; und der größte Unterſchied,

den wir im ganzen Jahre finden, iſt das Maximum der Mittelpunktsgleichung. Dieſes iſt, als ein Mittel, um die Excentricität der Bahn zu beſtimmen, eine weit leichtere und genauere Methode, als das Verfahren, aus der Meſſung des ſcheinbaren Durchmeſſers der Sonne ihre Entfernung herzuleiten. Die Reſultate beider Methoden ſtimmen indeſſen vollkommen überein.

323) Fiele die Ekliptik mit dem Aequinoctialkreiſe zuſammen, ſo würde die Mittelpunktsgleichung die Gleichförmigkeit der ſcheinbaren Bewegung der Sonne in der Länge ſtören, und dadurch hinſichtlich der Zeit, um von einem Tage zum andern in den Meridian zu kommen, eine Ungleichheit verurſachen. Wenn der Mittelpunkt der Sonne in den Meridian tritt, ſo iſt es wahrer Mittag, und wenn die Bewegung der Sonne in der Långe gleichförmig wäre, und die Ekliptik mit dem Aequinoctialkreiſe zuſammenfiele, ſo würde dieſer immer mit dem mittleren Mittage oder mit 12 Uhr an einer gut regulirten Sonnenuhr, zuſammentreffen. Aber abgeſehen von der fehlenden Gleichförmigkeit in der Bewegung der Sonne, erzeugt auch die Schiefe der Ekliptik eine andere Ungleichheit in dieſer Hinſicht, in Folge welcher die Sonne, ſelbſt wenn man ihre Bewegung in der Ekliptik als gleichförmig annimmt, doch abwechſelnd in ihrer Zeit, um den Meridian zu erreichen, dem mittleren Mittage, wie ihn die Uhr angiebt, vorausgehen und nachfolgen wird. Da nämlich die gerade Aufſteigung eines Himmelskörpers die eine Seite eines rechtwinkligen ſphäriſchen Dreieckes bildet, deſſen Hypothenuſe die Länge deſſelben iſt, ſo ergiebt ſich von ſelbſt, daß die gleichförmige Zunahme der letzteren eine Abweichung von der Gleichförmigkeit im Wachsthume der erſtern zur Folge haben muß.

324) Da alſo dieſe beiden Urſachen vereint wirken, ſo bringen ſie allerdings eine ſehr beträchtliche Schwankung in der Zeit hervor, welche die Uhr anzeigt, wenn die Sonne wirklich den Meridian erreicht. Dieſe Schwankung beträgt in der That über eine halbe Stunde, indem nämlich der wahre Mittag zu einer Zeit um 16¼ Minuten vor dem mittleren Mittage, und zu einer

andern um $14\frac{1}{2}$ Minuten *nach* dem mittleren Mittage eintritt. Dieſer Unterſchied zwiſchen dem wahren und mittleren Mittage heißt die *Zeitgleichung*, und ſie wird in den aſtronomiſchen Ephemeriden für jeden Tag des Jahres unter dieſem Titel berechnet und angegeben; oder auch, was auf eins hinauskommt, der Augenblick der Culmination der Sonne wird für jeden Tag in *mittlerer Zeit* als eine zu beobachtende aſtronomiſche Erſcheinung angemerkt.

325) Während die Sonne in ihrem ſcheinbaren jährlichen Laufe in der Ekliptik ſich fortbewegt, ändert ſich ihre Abweichung beſtändig zwiſchen den äußerſten nördlichen und ſüdlichen Grenzen von 23° 28′ 40″, wohin ſie in den Solſtitien gelangt. Sie ſteht folglich immer ſenkrecht über einem oder dem andern Theile derjenigen Zone der Erdoberfläche, welche zwiſchen den nördlichen und ſüdlichen Parallelkreiſen von 23° 28′ 40″ Breite liegt. Dieſe Parallelkreiſe heißen in der Geographie die *Wendekreiſe*, und zwar der nördliche derjenige des *Krebſes*, und der ſüdliche derjenige des *Steinbocks*, weil die Sonne, in den betreffenden Solſtitien, in denjenigen Abtheilungen oder in den Zeichen der Ekliptik ſteht, welche dieſe Namen führen. Solcher Zeichen giebt es zwölf, und jedes derſelben hat einen Umfang von 30°. Sie fangen an beim Frühlingsnachtgleichenpunkte, und heißen der Reihe nach: Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau, Waage, Skorpion, Schütze, Steinbock, Waſſermann, Fiſche. Sie werden mit folgenden Symbolen bezeichnet: ♈, ♉, ♊, ♋, ♌, ♍, ♎, ♏, ♐, ♑, ♒, ♓.

Die Ekliptik ſelbſt wird auch in Zeichen, Grade, Minuten u. ſ. w. eingetheilt, ſo z. B. ſind 5 Z. 27° 0′ = 177° 0′; aber dieſe Eintheilung kommt jetzt immer mehr außer Gebrauch.

326) Wenn ſich die Sonne in einem der beiden Wendekreiſe befindet, ſo erleuchtet ſie, wie wir geſehen haben, den auf dieſer Seite des Aequators liegenden Pol, und ſcheint noch über ihn hinaus bis zur Grenze von 23° 28′ 40″. Die Breitenkreiſe in dieſem Ab-

ſtande von den Polen heißen die Polarkreiſe, und werden von einander durch die Benennung ſüdlicher und nördlicher Polarkreis unterſchieden. Die Gegenden innerhalb dieſer Kreiſe heißen hie und da die kalten Zonen, während der Erdgürtel zwiſchen den Wendekreiſen die heiße Zone, und die zwiſchen den Polar- und Wendekreiſen liegenden die gemäßigten Zonen genannt werden. Dieſe Benennungen ſind indeſſen blos entſtanden, um der Sache einen Namen zu geben, indem wegen der verſchiedenen Vertheilung von Meer und Land in den beiden Hemiſphären, diejenigen Zonen, welche einerlei Clima haben, nicht gleichbedeutend ſind mit den Zonen unter einerlei Breite.

327) Unſere Jahreszeiten werden beſtimmt durch die ſcheinbaren Durchgänge der Sonne durch den Aequinoctialkreis und durch ihre abwechſelnde Ankunft in der nördlichen und ſüdlichen Hemiſphäre. Wäre die Nachtgleiche unveränderlich, ſo würde dieſes immer nach Zeiträumen ſtattfinden, die der Dauer des Sternjahres genau gleich ſind; aber wegen der langſamen, in Art. 264. beſchriebenen, koniſchen Bewegung der Erdaxe geht die Nachtgleiche auf der Ekliptik zurück, und begegnet der kommenden Sonne etwas eher, als der ganze ſideriſche Umlauf vollendet iſt. Das jährliche Zurückweichen der Nachtgleiche beträgt 50″, 1, und dieſer Bogen wird von der Sonne in der Ekliptik in dem Zeitraume von 20′ 19″,9 beſchrieben. Um ſo viel kürzer iſt alſo die periodiſche Rückkehr unſerer Jahreszeiten, als der wahre ſideriſche Umlauf der Erde um die Sonne. Da die letztere Periode, oder das Sternjahr, = 365 Tagen 6 Stunden 9 Minuten 9, 6 Sekunden iſt, ſo folgt daraus, daß erſtere nur 365 Tage 5 St. 48 M. 49, 7 S. beträgt; und dieſe Periode iſt diejenige, die man das tropiſche Jahr nennt.

328) Wir haben bereits erwähnt, daß die große Axe der von der Erde beſchriebenen Ellipſe eine langſame vorſchreitende Bewegung von 11,8 Sekunden jährlich habe. Daraus ergiebt ſich, daß, wenn die Erde, vom Perihelium angerechnet, einen ſideriſchen Umlauf vollendet hat, das Perihelium ſich um 11″,8 vorwärts

bewegt haben wird, welcher Bogen alſo erſt von der Erde zurückgelegt werden muß, ehe ſie das Perihelium wieder erreichen kann. Dazu braucht ſie 4′ 39″,7 Zeit, und dieſe müſſen deshalb zur ſideriſchen Umlaufszeit addirt werden, um den Zeitraum zwiſchen zwei auf einander folgenden Rückkehren zum Perihelium zu geben. Dieſer Zeitraum beträgt demnach 365 T. 6 St. 13 M. 49, 3 S., *) und er iſt das ſogenannte anomaliſtiſche Jahr. Alle dieſe Perioden werden in der Aſtronomie benutzt; aber diejenige, die im Allgemeinen Jedermann am meiſten intereſſirt, iſt das tropiſche Jahr, von welchem die Rückkehr der Jahreszeiten abhängig iſt, und welches wir als ein zuſammengeſetztes Reſultat zu betrachten haben, das hauptſächlich und direct aus dem jährlichen Umlaufe der Erde um die Sonne, aber ſubordinirt und indirect auch aus der Umdrehung der Erde um ihre eigene Axe entſpringt, wovon eben das Vorrücken der Nachtgleichen eine Folge iſt. Es gewährt hiernach ein belehrendes Beiſpiel der Art, wie eine Bewegung, welche einmal in einem Theile unſeres Sonnenſyſtemes zugeſtanden iſt, in ihrer Wirkung auf andere verfolgt werden kann, mit welchen ſie auf den erſten Blick in gar keiner Verbindung zu ſtehen ſcheint.

329) Auf dieſelbe Weiſe, wie eine rohe Betrachtung des Ausſehens der Erde ſchon die allgemeine Rundung ihrer Form erkennen läßt, und erſt eine genauere Unterſuchung uns zu der Entdeckung ihrer eliptiſchen Geſtalt, und, mit fortſchreitender Verfeinerung, zur Wahrnehmung kleinerer örtlicher Abweichungen geführt hat, ſo iſt auch, bei der Unterſuchung des Laufes der Sonne, die erſte Idee, die wir erlangen, im allgemeinen diejenige einer runden Bahn, welche ſich nicht weit von einem Kreiſe entfernt, die aber, bei ſorgfältigerer und genauerer Nachforſchung, ſich als eine Ellipſe von kleinerer Excentricität darſtellt, welche nach gewiſſen, oben

---

*) Dieſe Zahlen, ſo wie alle andern numeriſchen Angaben über unſer Sonnenſyſtem, ſind, wenn nicht das Gegentheil bemerkt iſt, aus Baily's Astronomical Tables and Formulae entnommen.

bereits angegebenen Geſetzen beſchrieben wird. Eine noch ſchärfere Unterſuchung entdeckt wiederum kleinere Abweichungen von dieſer Form und von dieſen Geſetzen, wozu wir ſchon einen Beleg in der langſamen Bewegung der Axe der Bahn haben, wovon in Art. 318. die Rede war, und welche Abweichungen man gewöhnlich unter dem Namen von Störungen und Säcularungleichheiten begreift. Von dieſen Abweichungen und ihren Urſachen werden wir ſpäter ausführlicher reden. Es iſt der Triumph der phyſiſchen Aſtronomie, von ihnen allen eine vollſtändige Rechenſchaft gegeben, und nichts, weder in den Bewegungen der Sonne, noch in denen irgend eines andern zu unſerm Syſteme gehörigen Himmelskörpers, unerklårt gelaſſen zu haben. Aber die Art dieſer Erklärung kann nicht eher verſtanden werden, als bis wir das Geſetz der Gravitation oder der allgemeinen Schwere entwickelt, und es in ſeinen direkteren Folgen betrachtet haben. Dieſes wird der Gegenſtand der drei folgenden Capitel ſeyn, in welchen wir die Nähe des Mondes und ſeine genaue Verbindung mit der Erde, ſo wie ſeine unmittelbare Abhängigkeit von derſelben, gewiſſermaßen als eine Brücke zur allgemeinen Erklärung der planetariſchen Bewegungen benutzen werden.

330) Wir wollen dieſes Capitel damit beſchließen, daß wir noch mittheilen, was von der phyſiſchen Beſchaffenheit der Sonne bekannt iſt.

Wenn man ſie durch ſtarke Fernröhre betrachtet, die mit farbigen Glåſern verſehen ſind, um die Hitze und den Glanz zu beſeitigen, die ſonſt unſere Augen verletzen würden, ſo bemerkt man håufig große und ganz ſchwarze Flecken auf derſelben, welche mit einer Art von Rand umgeben ſind, der nicht ſo dunkel iſt, und ein Halbſchatten genannt wird. Einige derſelben ſind durch a, b, c, Taf, III. Fig. 21 dargeſtellt. Dieſe Flecke ſind indeſſen nicht beſtändig und unveränderlich. Wenn man ſie von Tag zu Tag, oder ſelbſt von Stunde zu Stunde beobachtet, ſo ſieht man ſie größer werden oder ſich zuſammenziehen, ihre Formen verändern und endlich ganz verſchwinden, oder von Neuem an Stellen der Oberfläche hervorbrechen, wo zuvor keine waren. In den

Fällen des Verſchwindens zieht ſich der mittlere dunkle Fleck immer in einen Punkt zuſammen, und verſchwindet früher als der Rand. Zuweilen brechen ſie auf, oder theilen ſich in zwei oder mehrere, und bieten alsdann in dieſen alle Merkmale jener großen Beweglichkeit dar, welche nur dem flüſſigen Zuſtande angehört, und jener außerordentlichen Unruhe, die nur mit dem atmosphäriſchen oder gasförmigen Zuſtande des Stoffes verträglich zu ſeyn ſcheint. Der Maasſtab, nach welchem ihre Bewegungen ſtattfinden, iſt unermeßlich. Eine einzige Bogenſecunde, von der Erde aus geſehen, entſpricht auf der Sonnenſcheibe 465 engliſchen Meilen; und ein Kreis von dieſem Durchmeſſer, welcher deshalb beinahe 220000 engliſche Quadratmeilen enthält, iſt der kleinſte Raum, den man auf der Sonne als eine ſichtbare Fläche deutlich erkennen kann. Es ſind indeſſen Flecke beobachtet worden, die einen Lineardurchmeſſer von mehr als 45000 engliſchen Meilen hatten; *) ja ſelbſt von noch weit größerem Durchmeſſer, wenn man einigen Nachrichten trauen darf. Damit ein ſolcher Fleck ſich binnen 6 Wochen gänzlich ſchließe (denn ſie dauern kaum jemals länger), müſſen ſeine Ränder ſich täglich um mehr als 1000 engliſche Meilen einander nähern.

Viele andere Umſtände tragen dazu bei, dieſe Anſicht der Sache zu beſtättigen. Derjenige Theil der Sonnenſcheibe, welcher keine Flecke hat, iſt darum bei Weitem noch nicht gleichförmig glänzend. Der Grund deſſelben iſt fein geſprenkelt mit ſehr kleinen dunkeln Punkten, oder Poren, die, bei aufmerkſamer Betrachtung, in einem Zuſtande beſtändiger Veränderung gefunden werden. Es giebt nichts, was dieſe Erſcheinung ſo treu darſtellt, als das langſame Niederſinken einiger flockigen chemiſchen Präcipitate in einer durchſichtigen Flüſſigkeit, wenn man dieſelben ſenkrecht von oben herab betrachtet. Dieſe Darſtellung iſt in der That ſo treu, daß es kaum möglich iſt, nicht auf den Gedanken zu kommen, daß ein leuchtendes Medium mit einer

---

*) Mayer, Obs. Mart. 15. 1758. „Ingens macula in sole conspiciebatur, cujus diameter = 1/20 diam. solis.“

durchſichtigen und nicht leuchtenden Atmosphäre untermengt, aber nicht gemiſcht ſey, und entweder in derſelben, gleich den Wolken in unſerer Luft, ſchwimme, oder ſie in ausgedehnten Flächen und in flammenartigen Säulen oder nordlichtähnlichen Ausſtrahlungen durchdringe.

331) Endlich bemerkt man in der Nähe großer Flecke, oder ausgebreiteter Gruppen derſelben, oft weite Räume der Oberfläche mit ſtark gezeichneten, gekrümmten oder in Zweige auslaufenden Strichen bedeckt, die weit glänzender ſind, als der übrige Theil. Es ſind dieſes die ſogenannten Sonnenfackeln, zwiſchen welchen häufig dergleichen Flecke entſtehen, wenn ſie nicht bereits vorhanden ſind. Man kann ſie mit großer Wahrſcheinlichkeit vielleicht als die Kämme unermeßlicher Wogen in den Lichtregionen der Sonnenatmoſphäre betrachten, die eine heftige Bewegung in ihrer Nachbarſchaft anzeigen.

332) Aber was ſind nun die Flecke? Manche wunderliche Anſichten ſind über dieſen Gegenſtand verbreitet worden, aber nur eine einzige von ihnen ſcheint einen Grad phyſiſcher Wahrſcheinlichkeit zu beſitzen, und zwar diejenige, daß ſie der dunkeln, oder wenigſtens der verhältnißmäßig dunkle, feſte Körper der Sonne ſelbſt ſind, welcher durch jene außerordentlichen Fluctuationen in den Lichtregionen der Sonnenatmoſphäre, denen letztere ausgeſetzt iſt, unſern Blicken enthüllt wird. Auf welche Weiſe dieſe Entblößung ſtattfinde, darüber ſind ebenfalls verſchiedene Ideen aufgeſtellt und vertheidigt worden. Lalande (Aſtr. Art. 3240.) nimmt an, daß hohe Hervorragungen von der Natur der Berge wirklich bloßgelegt ſind, über den Lichtocean vorragen und ſchwarz über demſelben erſcheinen, während ihre ſeichten Abhänge die Halbſchatten bilden, bei denen das leuchtende Fluidum weniger tief iſt. Ein triftiger Einwand gegen dieſe Theorie iſt aber die vollkommen gleichförmige Schattirung des Halbſchattens und ſeine ſcharfe Abgrenzung ſowohl inwendig, wo er mit dem Fleck in Berührung iſt, als auch auswendig, wo er an die glänzende Oberfläche grenzt. Eine wahrſcheinlichere

Erklärung hat Sir William Herſchel*) gegeben, welcher annimmt, daß die leuchtenden Schichten der Atmoſphäre hoch über dem Niveau des feſten Körpers von einem durchſichtigen elaſtiſchen Medium getragen werden, welches auf ſeiner Oberfläche (oder vielmehr, um den vorigen Einwurf zu vermeiden, etwas beträchtlich unter ſeiner Oberfläche) eine Wolkenſchicht trägt, die von oben ſtark erleuchtet wird, einen beträchtlichen Theil dieſes Lichtes nach uns reflectirt und einen Halbſchatten bildet, während der von den Wolken beſchattete feſte Körper kein Licht zurückwirft. Die jedesmalige Entfernung beider Schichten, der obern aber noch mehr als der untern, wird, wie er annimmt, durch mächtige, aufwärts gehende Strömungen der Atmoſphäre bewirkt, die vielleicht durch Luftlöcher im Körper, oder durch örtliche Agitationen erzeugt werden. Siehe Fig. 1. d, Taf. III.

333) Die Region der Flecke beſchränkt ſich ungefähr auf 30° zu beiden Seiten des Sonnenäquators, und aus ihrer Bewegung auf der Oberfläche, welche mit Mikrometern ſorgfältig gemeſſen worden iſt, hat man die Lage dieſes Aequators beſtimmt, deſſen Ebene um 7° 20′ gegen die Ekliptik geneigt iſt, und die letztere in einer Linie ſchneidet, deren Richtung mit derjenigen der Nachtgleichen einen Winkel von 80° 21′ bildet. Man hat auch bemerkt (wie wir glauben, nicht ohne große Nothwendigkeit fernerer Beſtätigung), daß erloſchene Flecke nach langen Zeiträumen wieder ganz an denſelben Stellen der Sonnenkugel entſtanden ſeyen. Unſere Kenntniß der Rotationsperiode der Sonne (welche nach Delambre's Rechnungen 25,01154 Tage beträgt, aber nach Anderen merklich anders iſt) kann indeſſen ſchwerlich als hinlänglich genau betrachtet werden, um einen ſo ſubtilen Punkt mit aller Schärfe feſtzuſtellen.

334) Daß die Temperatur auf der ſichtbaren Oberfläche der Sonne nur eine ſehr hohe ſeyn könne, und

*) Philosophical Transactions 1801.

zwar eine weit höhere, als wir durch künſtliche Wärme in unſeren Oefen, oder durch chemiſche oder galvaniſche Proceſſe zu erzeugen vermögen, darüber haben wir verſchiedene ſehr beſtimmte Anzeigen:

1) Aus dem Geſetze der Abnahme der ſtrahlenden Wärme und des Lichtes (welche ſich umgekehrt verhalten, wie die Quadrate der Entfernungen) folgt, daß die einem gewiſſen Flächenraume in der Entfernung der Erde von der Sonne, und einem gleichen Flächenraume an der ſichtbaren Oberfläche der Sonne ſelbſt, mitgetheilte Wärme ſich zu einander verhalten müſſe, wie der Raum des Himmels, den die ſcheinbare Sonnenſcheibe einnimmt, ſich zur ganzen Hemiſphäre verhält, oder wie 1 zu etwa 300000. Eine weit geringere Intenſität der Sonnenausſtrahlung, im Focus eines Brennglaſes geſammelt, iſt hinreichend, um Gold und Platina in Dämpfe zu verwandeln.

2) Aus der Leichtigkeit, mit welcher die Wärmeſtrahlen der Sonne Glas durchdringen, eine Eigenſchaft, welche, wie man gefunden hat, bei der Wärme künſtlicher Feuer im directen Verhältniſſe ihrer Intenſität ſtattfindet.*)

3) Aus der Thatſache, daß die lebhafteſten Flammen verſchwinden, und die glühenſtden feſten Körper nur als ſchwarze Flecke auf der Sonnenſcheibe erſcheinen, wenn ſie zwiſchen dieſelbe und das Auge gehalten werden.**)

Aus dieſer letzten Bemerkung ergiebt ſich, daß der Sonnenkörper, wie dunkel er auch, durch ſeine Flecke

*) Durch directe Meſſung mit dem Aktinometer, einem Inſtrumente, deſſen ich mich bei ſolchen Unterſuchungen ſchon ſeit langer Zeit bedient habe, und deſſen Indicationen nicht den möglichen Täuſchungen ausgeſetzt ſind, welche bei den gewöhnlichen Schätzungsmethoden häufig vorkommen, finde ich, daß von 1000 Wärmeſtrahlen der Sonne 816 durch eine Glastafel von 0,12 Zoll Dicke dringen: und daß von 1000 Strahlen, welche durch eine ſolche Glastafel hindurch gegangen ſind, noch 859 fähig ſind, durch eine andere zu gehen. — D. Verf.

**) Die Kugel aus glühendem ungelöſchten Kalk in Lieutenant Drummond's Knallgaslampe gewährt die nächſte Nachah-

geſehen, erſcheinen mag, dennoch im Zuſtande des hef-tigſten Glühens, ſich befinden könne. Es iſt indeſſen keine nothwendige Folge, daß dieſes ſo ſeyn müſſe. Das Gegentheil iſt wenigſtens phyſiſch möglich. Eine vollkommen reflectirende Decke würde den Körper der Sonne gegen die Ausſtrahlung der Lichtre-gionen oberhalb ſeiner Atmoſphäre ſchützen; auch würde durch ein gasartiges Medium, das raſch an Dichtigkeit zunähme, keine Wärme nach unten geleitet werden. Daß die Wolken des Halbſchattens im hohen Grade reflectirend ſind, darüber läßt der Umſtand, daß ſie in einer ſolchen Lage ſichtbar ſind, wohl keinen Zweifel.

335) Dieſe außerordentliche Wärmeausſtrahlung er-klärt auch hinlänglich, wie gleichfalls bemerkt werden mag, den beſtändigen Zuſtand ſtürmiſcher Aufwallung, in welcher ſich die, die ſichtbare Oberfläche der Sonne bil-denden, Flüſſigkeiten befinden, ſo wie auch das fortwäh-rende Entſtehen und Wiederausfüllen der Poren, ohne daß man zu innern Urſachen ſich zu wenden braucht. Die Art und Weiſe der hier erwähnten Wirkung wird dem Auge vollkommen dargeſtellt durch das unruhige Niederfallen eines Präcipitates (wie in Art. 330. be-ſchrieben worden iſt), ſobald die Flüſſigkeit, in welcher der Niederſchlag erfolgt, warm iſt, und an ſeiner Oberfläche Wärme verliert.

336) Die Sonnenſtrahlen ſind die letzte Quelle von faſt jeder Bewegung, welche auf der Oberfläche der Erde ſtattfindet. Durch ihre Wärme entſtehen alle Winde, ſo wie Gleichgewichte der Atmoſphäre, aus wel-chen die Erſcheinungen des Erdmagnetismus entſpringen. Durch ihre belebende Wirkung gehen Pflanzen aus un-organiſchem Stoffe hervor, und dieſe werden ihrerſeits wiederum die Nahrung der Thiere und Menſchen, ſo wie die Quellen jener großen Niederlagen dynamiſcher

---

mung des Sonnenglanzes, die bis jetzt erreicht worden iſt. Die Erſcheinung einer ſolchen Kugel vor der Sonne, bei einem unvollkommenen Verſuche, dem ich beiwohnte, war indeſſen, wie oben beſchrieben. Der Verſuch muß unter günſtigen Um-ſtänden wiederholt werden. — Der Verfaſſer.

Wirkſamkeit, die für den menſchlichen Gebrauch in unſern Holz- und Kohlenlagern aufgeſpeichert ſind. Die Sonnenſtrahlen bewirken, daß die Gewäſſer des Meeres in Geſtalt von Dämpfen die Luft durchkreiſen und das Land bewäſſern, indem ſie Quellen und Flüſſe erzeugen. Durch die Sonnenſtrahlen werden alle Störungen des chemiſchen Gleichgewichtes der Naturelemente hervorgebracht, welche, durch eine Reihe von Compoſitionen und Decompoſitionen, neuen Erzeugniſſen ihr Daſeyn geben, und eine Verſetzung der Stoffe bewirken. Selbſt die langſame Verminderung der feſten Beſtandtheile der Erdoberfläche, worin eben die hauptſächlichſten geologiſchen Veränderungen derſelben beſtehen, und ihre Verbreitung unter die Gewäſſer des Oceans, rühren einzig und allein von der beſtändigen Einwirkung des Windes und Regens, und von dem abwechſelnden Einfluſſe der Jahreszeiten her; und wenn wir die, auf dieſe Art bewirkte, unermeßliche Verſetzung des Stoffes erwägen, ſo wie die daraus entſtehende Zunahme des Druckes über großen Räumen im Meeresbette, und die Abnahme deſſelben über entſprechenden Landtheilen, ſo läßt ſich leicht begreifen, wie die elaſtiſche Kraft unterirdiſcher Feuer, ſolchergeſtalt auf der einen Seite zurück gedrängt wird, und auf der andern geringern Widerſtand erfährt, an einzelnen Stellen durchzubrechen vermag, wenn der Widerſtand kaum noch ausreichend iſt, ſie zurück zu halten. Man ſieht alſo hieraus, daß man auf dieſe Weiſe ſogar von vulkaniſcher Thätigkeit herrührende Erſcheinungen auf den allgemeinen Geſichtspunkt des Einfluſſes der Sonnenſtrahlen zurückführen kann.

337) Das große Geheimniß beſteht indeſſen darin, zu begreifen, wie ein ſo enormer Sonnenbrand (wenn es ein ſolcher iſt) unterhalten werden könne. Hier läßt uns jede Entdeckung in den chemiſchen Wiſſenſchaften in vollſtändiger Ungewißheit, oder ſcheint vielmehr die Ausſicht auf eine wahrſcheinliche Erklärung immer weiter zu entfernen. Wenn man Vermuthungen wagen dürfte, ſo würden wir uns eher nach der bekannten Möglichkeit einer unendlichen Erzeugung von Wärme durch Friction, oder nach der Erregung derſelben durch

die elektriſche Entladung, umſehen, als den Urſprung der Sonnenausſtrahlung in einer wirklichen Verbrennung wägbaren Brennmateriales, ſey es feſt oder gasförmig, ſuchen. *)

---

*) Wenn die Electricität ihren Weg durch außerordentlich verdünnte Luft oder Dämpfe nimmt, ſo giebt ſie Licht und ohne Zweifel auch Wärme aus. Könnte es nun nicht der Fall ſeyn, daß eine ununterbrochene Strömung elektriſchen Stoffes beſtändig in der unmittelbaren Nähe der Sonne circulirte, oder die planetariſchen Räume durchkreuzte, und in den oberen Regionen ihrer Atmoſphäre diejenigen Erſcheinungen erregte, für welche wir, zwar nach einem ſehr kleinen Maaßſtabe, dennoch aber einen unzweideutigen Beleg in unſerem Nordlichte haben! Daß eine Analogie zwiſchen dem Sonnenlichte und dem Nordlichte möglich ſey, hat mein Vater in ſeiner bereits citirten Abhandlung ſehr beſtimmt behauptet. Es würde ein höchſt intereſſanter Gegenſtand für Experimentalforſchung ſeyn, auszumitteln, in wie weit eine bloße Verdoppelung von Flammenſchichten, in einiger Entfernung hinter einander (wodurch ihr Licht zu jeder erforderlichen Intenſität gebracht werden könnte), der Hitze des reſultirenden zuſammengeſetzten Strahles die Raum durchdringende Kraft mitzutheilen vermöchte, durch welche ſich die wärmeerzeugenden Sonnenſtrahlen auszeichnen. Wir können auch die Bemerkung hinzufügen, daß der ruhige Zuſtand der Polargegenden der Sonne, im Vergleiche zu den Aequatorialgegenden (wenn ihre Flecke wirklich atmoſphäriſch ſind), nicht lediglich durch die Umdrehung um ihre Axe erklärt werden kann, ſondern zugleich aus einer Urſache entſpringen müſſe, welche außerhalb der Sonne liegt, ſo wie wir auch ſehen, daß die Streifen des Jupiter und des Saturn, und unſere Paſſatwinde aus einer Urſache entſpringen, die außerhalb dieſer Planeten liegt und ſich mit der Rotation derſelben verbindet, welche letztere für ſich allein keine Bewegungen erzeugen kann, wenn einmal die Form des Gleichgewichtes erlangt iſt.

Die prismatiſche Analyſe des Sonnen-Strahles bietet im Farbenbilde eine Reihe feſter Linien dar, gänzlich unähnlich denen, welche dem Lichte irgend einer bekannten terreſtriſchen Flamme angehören. Dieſes kann uns ſpäter zu einer klarern Einſicht ſeines Urſprunges verhelfen. Bevor wir aber Folgerungen aus einem ſolchen Merkmale ziehen können, müſſen wir bedenken, daß der Sonnenſtrahl, ehe er zu uns gelangt, die ganze Abſorptionskraft unſerer Atmoſphäre, wie auch diejenige der Sonnenatmoſphäre erfahren hat. Von letzterer wiſſen wir nichts, und können über ſie

jede Vermuthung aufſtellen; aber der blauen Farbe der erſtern ſind wir gewiß, und wenn dieſe eine inhärirende (d. h. eine abſorbirende) Farbe iſt, ſo läßt ſich erwarten, daß die Luft auf das Farbenbild nach der Analogie anderer farbigen Mittel einwirkt, welche oft (und beſonders hellblaue Mittel) nicht abſorbirte Theile übrig laſſen, die durch dunkle Zwiſchenräume getrennt ſind. Es verdient deshalb eine Unterſuchung, ob einige, oder alle feſten Linien, welche von Wollaſton und Fraunhofer beobachtet worden ſind, nicht in unſerer eigenen Atmoſphäre ihren Urſprung haben. Verſuche, welche man einerſeits auf hohen Bergen oder in den Gondeln der Luftballons, und andererſeits mit reflectirten Strahlen anſtellen müßte, die man nahe an der Oberfläche der Erde mehrere Meilen weit die Luft durchdringen ließe, würden dieſen Punkt entſcheiden. Die abſorbirende Wirkung der Sonnenatmoſphäre aber, und möglicher Weiſe auch jene des dieſelbe umgebenden Mediums (woraus es auch beſtehen möge), welches den Bewegungen der Kometen Widerſtand leiſtet, kann auf dieſe Weiſe nicht umgangen werden. — Der Verfaſſer.

Sechstes Kapitel.

Von dem Monde. — Sideriſcher Umlauf deſſelben. — Sein ſcheinbarer Durchmeſſer. — Parallaxe, Entfernung und wirklicher Durchmeſſer deſſelben. — Erſte genäherte Kenntniß ſeiner Bahn. — Er beſchreibt eine Ellipſe um die Erde. — Excentricität und Neigung der Mondsbahn. — Bewegung der Knoten der Mondsbahn. — Sternbedeckungen. — Sonnenfinſterniſſe. — Lichtveränderungen des Mondes. — Synodiſcher Umlauf deſſelben. — Mondsfinſterniſſe. — Bewegung der Apſiden der Mondsbahn. — Phyſiſche Beſchaffenheit des Mondes. — Seine Gebirge. — Seine Atmoſphäre. — Umdrehung um ſeine Axe. — Libration des Mondes. — Erſcheinung der Erde, vom Monde aus geſehen.

338) Wie die Sonne, ſo rückt auch der Mond mit einem der allgemeinen täglichen Bewegung des Himmels entgegengeſetzten, aber weit raſcheren Lauf, als jene, unter den Fixſternen fort, was man, wie wir ſchon oben erwähnten, ſelbſt bei einer oberflächlichen Aufmerkſamkeit von nur wenigen Stunden in einer mondhellen Nacht leicht bemerken kann. Bei dieſem beſtändigen Fortſchreiten, welches, obgleich es zuweilen geſchwinder, zuweilen langſamer von Statten geht, doch niemals ausſetzt, oder gar rückläufig wird, vollendet er ſeine Bahn am Himmel in einer mittlern oder Durchſchnittsperiode von 27 Tagen 7 Stunden 43 Minuten 11,5 Sekunden, indem er nach dieſer Zeit wieder eine Stellung unter den Fixſternen einnimmt, welche beinahe dieſelbe iſt, die er vorher hatte, und genau die nämliche ſeyn würde, wenn nicht Urſachen eingewirkt hätten, die jetzt näher angegeben werden ſollen.

339) Der Mond beſchreibt ſonach, wie die Sonne, eine ſcheinbare Bahn um die Erde, und dieſe Bahn

kann nicht ſehr beträchtlich von einem Kreiſe abweichen, weil der ſcheinbare Winkeldurchmeſſer des Vollmondes keiner bedeutenden Veränderung unterworfen iſt.

340) Die Entfernung des Mondes von der Erde wird aus ſeiner Horizontalparallaxe gefolgert, die man entweder direct durch Beobachtungen finden kann, welche an von einander entfernten geographiſchen Standpunkten I angeſtellt werden, gerade ſo, wie ſie im Art. 302. in Bezug auf die Sonne beſchrieben worden ſind, oder auch mittelſt derjenigen Erſcheinungen, die man Sternbedeckungen nennt, (Art. 346.) aus denen ſich noch außerdem ſein ſcheinbarer Durchmeſſer ſehr leicht und genau herleiten läßt. Aus ſolchen Beobachtungen ergiebt ſich, daß die mittlere oder Durchſchnittsentfernung des Mittelpunktes des Mondes von demjenigen der Erde 59,9643 Halbmeſſer des Erdäquators oder etwa 237000 engliſche Meilen beträgt. Dieſe Entfernung, ſo groß ſie an ſich auch iſt, macht doch nur ein wenig mehr aus, als den vierten Theil des Durchmeſſers des Sonnenkörpers, ſo daß letzterer faſt zweimal die ganze Mondsbahn in ſich aufnehmen könnte, — eine Betrachtung, die ganz vorzüglich geeignet iſt, uns einen Begriff von dem ungeheueren Umfange dieſes leuchtenden Körpers zu geben!

341) Die Entfernung des Mittelpunktes des Mondes von einem Beobachter an irgend einem Punkte der Erdoberfläche, verglichen mit ſeinem ſcheinbaren Winkeldurchmeſſer, welcher von dieſem Standpunkte aus gemeſſen worden iſt, wird den wahren oder Lineardurchmeſſer des Mondes geben. Die erſtere Entfernung iſt nun leicht zu berechnen, ſobald die Entfernung des Mondes vom Mittelpunkte der Erde bekannt und dabei ſein ſcheinbarer Zenithabſtand durch Beobachtung beſtimmt iſt; denn wenn wir uns zur Fig. 43. wenden, wo S den Mond, A den Beobachtungsort, und C den Mittelpunkt der Erde bezeichnen mögen, ſo ſind die Entfernung SC und der Radius der Erde CA, mithin zwei Seiten des Dreieckes CCS, und außerdem der Winkel CAS gegeben, welcher das Supplement des beobachteten Zenithabſtandes ZAS iſt, woraus ſich leicht

A S, die Entfernung des Mondes von A, finden läßt. Aus ſolchen Beobachtungen und Berechnungen ergiebt ſich, daß der wahre Durchmeſſer des Mondes 2160 engliſche Meilen, oder etwa 0,2729 des Erddurchmeſſers beträgt, woraus folgt, daß, wenn der körperliche Inhalt der Erde = 1 geſetzt wird, derjenige des Mondes = 0204 oder etwa $1/_{49}$ iſt.

342 Durch eine Reihe ſolcher Beobachtungen, wie ſie im Art. 340. beſchrieben worden ſind, kann man, wenn ſie während eines, oder mehrerer Umläufe des Mondes fortgeſetzt werden, ſeine wahre Entfernung in jedem Puncte ſeiner Bahn beſtimmen; und wenn man zu gleicher Zeit ſeine ſcheinbaren Orte am Himmel beobachtet, und ſie mittelſt ſeiner Parallaxe auf den Mittelpunkt der Erde reducirt, ſo werden ihre wahren Winkelabſtände bekannt, ſo daß man die Bahn des Mondes auf eine Charte tragen kann, von welcher man annimmt, daß ſie die Ebene ſeiner Bahn vorſtellt, gerade ſo, wie wir es bei der Sonnenellipſe (Art. 292.) erklärt haben. Auf dieſe Weiſe findet man, wenn gewiſſe kleine, obſchon ſehr bemerkbare, Abweichungen (über welche weiter unten eine genügende Erläuterung gegeben werden wird) unberückſichtigt bleiben, daß die ſcheinbare Bahn des Mondes, gleich derjenigen der Sonne, eine Ellipſe iſt, nur von weit größerer Excentricität, indem letztere ſich bis auf 0,05484 der mittleren Entfernung, oder der halben großen Axe der Ellipſe beläuft, und daß der Mittelpunkt der Erde ſich in dem einen Brennpunkte dieſer Ellipſe befindet.

343) Die Ebene, in welcher dieſe Bahn liegt, iſt indeſſen nicht die Ekliptik, ſondern ſie iſt gegen die letztere unter einem Winkel von 5° 8' 48", den man die Neigung der Mondsbahn nennt, geneigt, und ſie ſchneidet dieſelbe in zwei einander gegenüber liegenden Punkten, welche die Knoten der Mondsbahn heißen. Der aufſteigende Knoten iſt derjenige, durch welchen der Mond von der ſüdlichen Seite der Ekliptik auf die nördliche, und der niederſteigende derjenige, durch welchen er von der nördlichen Seite zur ſüdlichen gelangt. Diejenigen Punkte der Bahn, in

welchen der Mond der Erde am nächſten und am entfernteſten ſteht, heißen die **Erdnähe** (**Perigeum**) und die **Erdferne** (**Apogeum**) deſſelben, und die Linie, welche dieſe Punkte und die Erde mit einander verbindet, heißt die **Apſidenlinie**.

344) Es finden indeſſen einige merkwürdige Umſtände ſtatt, durch welche die genaue Analogie geſtört wird, die der Leſer unfehlbar zwiſchen der Bewegung des Mondes um die Erde und der Bewegung der Erde um die Sonne bemerken muß. Bei der letzteren bleibt die beſchriebene Ellipſe, während ſehr vieler Umläufe, in ihrer Lage und in ihren Dimenſionen unverändert, oder es werden wenigſtens die Veränderungen, welche ſie erfährt, nur erſt durch eine Reihe ſehr genauer Beobachtungen bemerklich, die allerdings die Anweſenheit von **Störungen**, jedoch von ſo geringfügiger Art, dargethan haben, daß man dieſelben für gewöhnliche Zwecke ganz außer Acht laſſen kann. Dieſes kann aber beim Monde nicht geſchehen; denn ſchon während eines einzigen Umlaufes wird ſeine Abweichung von einer vollkommenen Ellipſe ſehr bemerkbar. Er kehrt nicht genau in die nämliche Stellung unter den Firſternen zurück, von welcher er ausgieng, und dieſes beweiſet eine beſtändige Veränderung in der Lage der **Ebene** ſeiner Bahn. In der That, wenn wir durch Beobachtung von einem Monate zum andern die Punkte verfolgen, in welchen er die Ekliptik ſchneidet, ſo werden wir finden, daß die **Knoten** ſeiner Bahn beſtändig auf der Ekliptik **zurückweichen**. Es bezeichnen O (Fig. 46.) die Erde, A b a d denjenigen Theil der Ebene der Ekliptik, welcher vom Monde, bei ſeinen abwechſelnden Durchgängen durch dieſelbe von Süden nach Norden und umgekehrt, durchſchnitten wird, und A B C D E F einen Theil der Mondsbahn, welcher einen vollſtändigen ſideriſchen Umlauf umfaßt. Nehmen wir nun an, daß der Lauf des Mondes beim aufſteigenden Knoten A beginne, ſo würde, wenn ſein ganzer Lauf in einer einzigen, durch O gehenden, Ebene ſtattfände, a, als der gegenüber liegende Punkt in der Ekliptik, der niederſteigende Knoten ſeiner Bahn ſeyn, und von hier-

aus würde der Mond wieder bei A in den aufſteigenden Knoten gelangen. Sein wahrer Lauf führt ihn indeſſen nicht nach a, ſondern längs einer gewiſſen Curve ABC nach C, einem Punkte in der Ekliptik, welcher weniger als 180° von A entfernt iſt, ſo daß der Winkel AOC, oder der zwiſchen dem aufſteigenden und niederſteigenden Knoten beſchriebene Längenbogen, etwas weniger als 180° beträgt. Alsdann ſetzt der Mond ſeinen Lauf unter der Ekliptik längs der Curve CDE fort, und erhebt ſich wieder über dieſelbe, nicht im Puncte c, welcher dem Punkte C, gerade gegenüber liegt, ſondern in einem Punkte E, der eine kleinere Länge hat, als erſterer. Den zwiſchen zwei auf einander folgenden, von Süden nach Norden ſtattfindenden, Durchgängen durch die Ebene der Ekliptik beſchriebenen Längenbogen fehlt alſo, im Ganzen, gerade der Betrag des Winkels AOE an 360°, oder mit anderen Worten der aufſteigende Knoten iſt bei einem Mondsumlaufe auf der Ebene der Ekliptik um eben jenen Betrag zurückgegangen. Um einen ſideriſchen Umlauf zu vollenden, muß demnach der Mond noch einen Bogen EF in ſeiner Bahn beſchreiben, wodurch er jedoch nicht genau wieder nach A, ſondern an einen Punkt gelangt, welcher etwas über A liegt, oder eine nördliche Breite hat.

345) Der wirkliche Betrag dieſes Zurückweichens des Mondsknotens beläuft ſich täglich im Durchſchnitt auf 3′ 10″,64, und in einer Periode von 6793,39 mittleren Sonnentagen, oder etwa in 18,6 Jahren, hat der aufſteigende Knoten in einer, der Bewegung des Mondes in ſeiner Bahn entgegengeſetzten, Richtung (oder von Oſten nach Weſten) den ganzen Umfang der Ekliptik durchlaufen. In der Mitte dieſer Periode muß folglich die Bahn gerade umgekehrt ſo liegen, als ſie zu Anfang derſelben lag. Die ſcheinbare Bahn des Mondes muß demnach in den verſchiedenen Theilen dieſer Periode zwiſchen ganz verſchiedenen Sternen und Sterngruppen liegen; und da dieſe Art von Spiralumlauf beſtändig fortdauert, ſo muß der Mond mit ſeiner Scheibe, zur einen oder zur anderen Zeit, jeden Punkt des Himmels innerhalb derjenigen Grenzen der Breite,

oder der Entfernung von der Ekliptik, bedecken, welche die Neigung der Mondsbahn zuläßt, d. h. innerhalb einer Himmelszone von 10° 18′ Breite, in deren Mitte die Ekliptik liegt. Nichtsdeſtoweniger bleibt es immer wahr, daß der wirkliche Ort des Mondes, in Folge dieſer Bewegung der Knoten, bei einem einzelnen Umlaufe nur ſehr wenig von demjenigen abweicht, an welchem er ſich befinden würde, wenn die Knoten ganz unveränderlich wären. Beginnt z. B. der Mond ſeinen Lauf vom Knoten A an, ſo wird ſeine Breite, wenn er nach F gelangt und alſo einen Umlauf in der Länge vollendet hat, nicht über 8 Minuten betragen; und um dieſe geringe Abweichung zu erklären und geometriſch darzuſtellen, iſt man auf die Bewegung der Knoten verfallen.

346) Da nun der Mond (aſtronomiſch geſprochen) ſich in einer ſehr mäßigen Entfernung von uns befindet und in der That unſer nächſter Nachbar iſt, während die Sonne und die Sterne ungleich weiter entfernt ſind, ſo muß es ſich nothwendig ereignen, daß er, zur einen oder zur andern Zeit, vor jedem, innerhalb der oben beſchriebenen Zone befindlichen Stern und Planeten vorübergeht, und ihn bedeckt oder verfinſtert, und, von der Oberfläche der Erde aus geſehen, iſt dieſes ſelbſt noch bei Sternen, außerhalb jener Zone der Fall, wegen der Parallaxe, durch welche der Mond ſcheinbar beinahe um einen Grad, nach irgend einer Richtung, je nach dem Standpunkte des Beobachters, von dem Orte verrückt werden kann, an welchem man ihn vom Mittelpunkte der Erde aus erblickt. Selbſt die Sonne iſt von einer ſolchen Bedeckung nicht ausgenommen, ſobald irgend ein Theil der Scheibe des Mondes bei ſeinem verſchlungenen Laufe in irgend einen Theil des Raumes eingreift, den dieſer Lichtkörper am Himmel einnimmt. In ſolchen Fällen entſteht die auffallendſte und eindrucksvollſte aller gelegenheitlichen aſtronomiſchen Erſcheinungen, nämlich eine Sonnenfinſterniß, wobei ein größerer oder kleinerer Theil, oder ſogar, bei einigen ſeltenen Zuſammentreffungen, die ganze Sonnenſcheibe verdunkelt,

und durch das Vorſchieben der Mondsſcheibe, die auf erſterer als ein kreisförmig begrenzter ſchwarzer Fleck erſcheint, gleichſam ausgelöſcht wird, wodurch eine temporäre Abnahme des Tageslichtes oder ſelbſt nächtliche Dunkelheit entſteht, ſo daß die Sterne wie um Mitternacht ſichtbar ſind. *) In anderen Fällen, wenn in dem Augenblicke, wo der Mond central vor der Sonne ſteht, der Umſtand eintritt, daß wegen größerer Entfernung des Mondes von der Erde ſein ſcheinbarer Winkeldurchmeſſer kleiner iſt, als derjenige der Sonne, entſteht die ſehr merkwürdige Erſcheinung einer ringförmigen Sonnenfinſterniß, wobei der Rand der Sonne einige Minuten lang als ein ſchmaler Lichtring erſcheint, der auf allen Seiten über den ſchwarzen Kreis hervortritt, welchen der Mond in der Mitte der Sonnenſcheibe bildet.

347) Eine Sonnen-Finſterniß kann nur eintreten, wenn Sonne und Mond in Conjunction ſind, d. h. wenn ſie dieſelbe oder beinahe dieſelbe Lage am Himmel, oder dieſelbe Länge haben. Man wird ſogleich ſehen, daß dieſe Bedingung nur zur Zeit eines Neumondes erfüllt werden kann, obſchon keineswegs dar-

*) Vollkommene nächtliche Dunkelheit kann auch bei einer totalen Sonnenfinſterniß nicht wohl eintreten, ſondern nur, je nach der Größe des ſcheinbaren Durchmeſſers der Mondſcheibe, eine manchmal ſchwächere, manchmal ſtärkere Dämmerung, bei welcher allerdings die größeren und helleren Sterne ſichtbar werden können. Denn wenn uns auch die Sonne durch den vor ſie getretenen Mond gänzlich verdeckt iſt, und uns alſo von derſelben kein directes Licht zukommen kann, ſo iſt doch eine ſolche Sonnenfinſterniß an nicht gar weit von unſerm Standpunkte entfernten Orten nicht mehr total, ſondern nur partial, und der an dieſen Orten nicht verdeckte Theil der Sonne beleuchtet ſonach nicht nur ſie ſelbſt, ſondern auch die über ihnen befindlichen Theile der Atmoſphäre, welche noch in dem Geſichtskreiſe unſeres Standpunktes liegen, und alſo ihr von dem nicht verfinſterten Theile der Sonne erhaltenes Licht nach uns reflectiren, wodurch an unſerem Standpunkte die vorhin erwähnte Dämmerung bewirkt wird.

N.

aus folgt, daß bei jeder Conjunction eine Sonnenfinſterniß eintreten müſſe. Wenn die Mondsbahn mit der Ekliptik zuſammenfiele, ſo würde dieſes allerdings der Fall ſeyn; da ſie aber gegen dieſelbe unter einem Winkel von mehr als 5° geneigt iſt, ſo ergiebt ſich von ſelbſt, daß die Conjunction, oder die Gleichheit der Längen ſtatt finden könne, wenn der Mond gerade in einem Theile ſeiner Bahn ſteht, der von der Ekliptik zu entfernt iſt, als daß ſich die Scheiben ſcheinbar berühren und bedecken könnten. Es iſt indeſſen leicht, die Grenzen anzugeben, innerhalb welchen eine Finſterniß möglich iſt. Für dieſen Zweck muß man in Erwägung ziehen, daß durch die Parallaxe der ſcheinbare Rand des Mondes nach irgend einer Richtung, je nach dem geographiſchen Standpunkte des Beobachters, um irgend einen Betrag verrückt werden kann, welcher die Horizontalparallaxe nicht überſchreitet. Dieſes kommt nun, (inſofern man nämlich bloß die Möglichkeit einer Finſterniß betrachtet) auf daſſelbe hinaus, als wenn der vom Mittelpunkte der Erde aus geſehene Durchmeſſer des Mondes um die doppelte Horizontalparallaxe deſſelben vergrößert wäre; denn wenn er bei dieſer Vergrößerung die Sonne berühren oder bedecken kann, ſo muß an irgend einem Theile der Erde eine Finſterniß ſtattfinden. Wenn alſo im Augenblicke der naheſten Zuſammenkunft beider Himmelskörper die geocentriſche Entfernung der Mittelpunkte derſelben die Summen ihrer Halbmeſſer und der Horizontalparallaxe nicht überſchreitet, ſo wird eine Finſterniß eintreten. Dieſe Summe beträgt höchſtens 1° 34′ 27″. In dem ſphäriſchen Dreiecke SNM (Fig. 47.) in welchem S den Mittelpunkt der Sonne, M den Mittelpunkt des Mondes, SN die Ekliptik, MN die Mondsbahn, und N den Knoten bezeichnet, können wir den Winkel NSM als einen rechten Winkel betrachten, SM iſt = 1° 34′ 27″, und der Winkel MNS iſt = 5° 8′ 48″, d. h. gleich dem Betrage der Neigung der Mondsbahn. Daraus läßt ſich SN berechnen, für welches man 16° 58′ erhält. Wenn daher im Augenblicke des Neumondes der Mondsknoten von der Sonne in Länge

weiter entfernt iſt, als dieſe Grenze, ſo kann keine Finſterniß ſtattfinden; befindet er ſich innerhalb dieſer Grenze, ſo kann, und wird auch wahrſcheinlich an dem einen oder andern Theile der Erde eine Finſterniß eintreten. Um genau auszumitteln, ob eine ſolche ſtatt finden wird, oder nicht, und wenn ſie ſtattfindet, wie groß der verfinſterte Theil ſeyn wird, muß man die Sonnen- und Mondstafeln zu Rathe ziehen, den Ort des Knotens und die Halbmeſſer genau berechnen, und eben ſo auch die örtliche Parallaxe, ſo wie die ſcheinbare Vergrößerung des Mondsdurchmeſſers, die von der Verſchiedenheit ſeiner Entfernung vom Beobachter und vom Mittelpunkte der Erde herrührt und $1/_{60}$ vom Horizontaldurchmeſſer des Mondes betragen kann. Alsdann iſt es nach den obigen Betrachtungen leicht auszumitteln, um wie viel die beiden Scheiben über einander greifen, und in welchen Momenten die Berührungen der Ränder ſtatt finden werden.

348) Die Berechnung der Bedeckung eines Sternes iſt von ähnlichen Betrachtungen abhängig. Eine Sternbedeckung iſt möglich, wenn der Mond während ſeines Laufes, vom Mittelpunkte der Erde aus geſehen, eine Entfernung von dem Sterne erreicht, welche gleich iſt der Summe des Halbmeſſers und der Horizontalparallaxe des Mondes; und ſie wird an irgend einem beſtimmten Orte eintreten, wenn der ſcheinbare Lauf des Mondes, von dieſem Orte aus geſehen, den Mittelpunkt des Mondes in eine Entfernung vom Sterne bringt, welche gleich iſt der Summe ſeines vergrößerten Halbmeſſers und ſeiner wirklichen Parallaxe. Das Ausführliche dieſer Berechnungen, die etwas mühſam ſind, muß man in andern Werken nachſchlagen. *)

349) Die Erſcheinungen einer Sonnenfinſterniß und einer Sternbedeckung ſind auch in phyſiſcher Hinſicht ſehr intereſſant und lehrreich. Sie zeigen uns, daß

---

*) Z. B. Woodhouse's Astronomy Vol. I. Siehe auch Trans. Ast. Soc. Vol. I. p. 325.

der Mond ein dunkler Körper iſt, der von einer wirklichen und ſcharf bezeichneten Oberfläche begrenzt iſt, welche, gleich einem feſten Körper, das Licht auffängt. Sie beweiſen uns ferner, daß der Mond auch zu den Zeitpunkten, wo wir ihn nicht ſehen können, wirklich exiſtirt und ſeinen Lauf fortſetzt, und daß, wenn wir ihn nur als eine ſchmale Sichel erblicken, der ganze kugelförmige Körper zugleich vorhanden iſt und, obſchon unſichtbar, dennoch den fehlenden Umriß ausfüllt. Denn die Sternbedeckungen finden ohne Unterſchied an dem dunkeln und an dem erleuchteten, an dem ſichtbaren und unſichtbaren Mondsrande ſtatt, je nachdem der eine oder der andere ſich in der Richtung befindet, nach welcher ſich der Mond bewegt, nur mit dem Unterſchiede, daß ein von dem erleuchteten Rande bedeckt werdender Stern, wenn die Erſcheinung mit einem Fernrohre beobachtet wird, durch ſeine allmählige Annäherung an den ſichtbaren Rand erkennen läßt, wann man ſein Verſchwinden zu erwarten habe, während er, wenn er vom dunkeln Rande bedeckt wird, und der Mond wenigſtens ſchon mehrere Tage im Zunehmen iſt, gleichſam mitten in der Luft verliſcht, ohne daß man eine ſichtbare Urſache ſeines Verſchwindens bemerkt, was, da es augenblicklich und ohne die geringſte vorläufige Verminderung ſeines Lichtes erfolgt, immer überraſchend, und bei einem großen und glänzenden Sterne faſt erſchreckend iſt. Auch das Wiedererſcheinen des Sterns, nachdem der Mond vor demſelben vorübergegangen iſt, findet in den Fällen, wo die erleuchtete Seite des Mondes voran iſt, nicht an der concaven Grenze der Sichel, ſondern an dem unſichtbaren Umriſſe des vollſtändigen Kreiſes ſtatt, und es iſt rückſichtlich ſeiner Plötzlichkeit kaum weniger überraſchend, als das Verſchwinden des Sternes in den entgegengeſetzten Fällen. *)

*) Es giebt eine optiſche Täuſchung von ganz ſonderbarer und unerklärlicher Art, welche man bei Sternbedeckungen öfter bemerkt hat. Der Stern ſcheint nämlich wirklich auf dem

350) Die Anweſenheit des vollſtändigen Kreiſes der Scheibe, ſelbſt wenn der Mond nicht voll iſt, folgt indeſſen nicht allein aus den Sternbedeckungen und Sonnenfinſterniſſen, ſondern man kann ſich auch davon, wenn der Mond im Zunehmen oder Abnehmen iſt, einige Tage nach und vor dem Neumonde mit unbewaffnetem Auge überzeugen, indem man ihn dann als einen blaſſen runden Körper erblickt, an welchem die helle Sichel befeſtiget zu ſeyn ſcheint, die ſogar etwas über ſeinen Umriß hervorragt (was eine optiſche Täuſchung iſt, welche aus der größeren Intenſität ihres Lichtes entſpringt). Die Urſache dieſer Erſcheinung ſoll ſogleich erklärt werden. Inzwiſchen genügt die Thatſache, um darzuthun, daß der Mond nicht, wie die Sonne, ein ſelbſtleuchtender Körper ſey, ſondern daß er ſein Licht anderswoher erhalte. Auch entſpricht ſeine wachſende Geſtalt, die regelmäßig von einer ganz

---

Rande der Mondsſcheibe und noch innerhalb derſelben fortzurücken, ehe er verſchwindet, und dieſes zuweilen bis zu einer beträchtlichen Tiefe. Ich ſelbſt habe zwar niemals dieſe ſeltſame Erſcheinung beobachtet, aber ſie hat ganz unzweifelhafte Zeugniſſe für ſich. Ich habe ſie eine optiſche Täuſchung genannt; allein es iſt auch leicht möglich, daß in ſolchen Fällen ein Stern durch eine tiefe Spalte in der Subſtanz des Mondes wirklich hindurchſcheinet. Die Bedeckungen nahe an einander ſtehender Doppelſterne ſollten ſehr genau beobachtet werden, theils um zu erfahren, ob beide Sterne auf gleiche Weiſe ſo auf der Mondſcheibe projicirt werden, theils auch für andere Zwecke, welche mit der Theorie derſelben im Zuſammenhange ſtehen. Ich will nur einen einzigen andeuten, nämlich, daß ein Doppelſtern von zu großer gegenſeitiger Nähe, um ihn mit irgend einem Fernrohre getrennt ſehen zu können, doch durch die Art ſeines Verſchwindens als doppelt erkannt werden kann. Sollte z. B. ein beträchtlicher Stern, ſtatt augenblicklich und vollſtändig zu erlöſchen, in zwei verſchiedenen Momenten verſchwinden, die jedoch ſchnell auf einander folgten, indem er zuerſt einen Theil, und dann den Reſt ſeines Lichtes verlöre, ſo könnten wir mit Sicherheit daraus ſchließen, daß es ein Doppelſtern ſey, obſchon wir die beiden Beſtandtheile deſſelben nicht getrennt zu ſehen vermögen. —
Der Verfaſſer.

ſchmalen Sichel bis zur vollſtändigen kreisrunden Scheibe zunimmt, vollkommen der Erſcheinung, die eine Kugel darbieten würde, deren eine Hälfte ſchwarz, die andere weiß iſt, ſobald ſie auf verſchiedene Weiſe gegen das Auge gewendet wird, ſo daß ſie demſelben bald ein größeres, bald ein kleineres Stück von jeder Hälfte zukehrt. Die einleuchtende Folgerung daraus iſt die, daß der Mond eine ſolche Kugel ſey, deren eine Hälfte von den Strahlen eines Lichtkörpers erleuchtet wird, der ſich in hinlänglicher Entfernung von ihm befindet, um die vollſtändige Halbkugel zu beleuchten, und zwar in ſolcher Stärke, um ihr den Glanz zu verleihen, welchen wir an ihr ſehen. Nun iſt die Sonne allein im Stande, dieſes zu bewirken. Ihre Entfernung und ihr Licht ſind hierzu ausreichend; auch kann man jederzeit, wenn der Mond eine Sichel bildet, wahrnehmen, daß der helle Rand der Sonne zugewendet iſt, und daß, ſo wie der Mond bei ſeinem monatlichen Laufe ſich immer mehr und mehr von der Sonne entfernt, verhältnißmäßig auch die Breite der Mondſichel zunimmt, und umgekehrt.

351) Da die Entfernung der Sonne 23984 Erdhalbmeſſer und die des Mondes nur 60 Erdhalbmeſſer beträgt, ſo iſt erſtere beinahe 400mal weiter von uns entfernt, als letzterer. Alle Linien, welche man von der Sonne nach jedem Theile der Mondsbahn zieht, können deshalb als Parallellinien betrachtet werden. Bezeichnen alſo (Fig. 48.) O die Erde, A, B, C, D u. ſ. w. verſchiedene Stellungen des Mondes in ſeiner Bahn, und S die Strahlen der Sonne aus der enormen oben angegebenen Entfernung, ſo wird, wie in der Figur dargeſtellt iſt, die der Sonne zugewendete Hemiſphäre der Mondskugel (rechter Hand) erleuchtet, und die gegenüber liegende dunkel ſeyn, wo auch der Mond in ſeiner Bahn ſtehen möge. In der Stellung A nun, wo ſich der Mond in Conjunction mit der Sonne befindet, iſt der dunkle Theil gänzlich der Erde O zugekehrt, der erleuchtete dagegen von derſelben abgewendet. In dieſer Lage wird alſo der Mond nicht geſehen und es iſt Neumond. Wenn der Mond bis nach C gelangt iſt, ſo wendet er der

Erde halb die erleuchtete und halb die dunkle Hemiſphäre zu, und eben ſo auch in der entgegengeſetzten Lage G. Dieſe Stellungen nennt man das erſte und das letzte Viertel des Mondes. Befindet ſich der Mond endlich in E, ſo wendet er der Erde die ganze erleuchtete Seite zu, und die ganze dunkle Seite von derſelben ab; man ſieht ihn alsdann ganz erleuchtet, oder es iſt Vollmond. In den zwiſchen liegenden Stellungen B, D, F, H wird der Theil der erleuchteten Seite, der gegen O gewendet iſt, anfangs kleiner ſeyn, als die halbe ſichtbare Oberfläche, dann größer, und endlich wieder kleiner, bis der Mond gänzlich verſchwindet, wenn er wieder nach A gelangt.

352) Dieſe monatlichen Veränderungen des Ausſehens des Mondes, oder die Lichtgeſtalten, Phaſen deſſelben, wie man ſie zu nennen pflegt, entſtehen demnach dadurch, daß der Mond, welcher ein dunkler Körper iſt, zur einen Hälfte von der Sonne erleuchtet wird, und einen Theil des ſo erhaltenen Lichtes nach allen Richtungen hin reflectirt. Nun darf man ſich nicht darüber wundern, daß ein auf dieſe Weiſe beleuchteter, feſter Körper zu ſcheinen und wiederum die Erde zu erleuchten vermag. Dieſes iſt nicht mehr, als was eine weiße Wolke thut, die am klaren blauen Himmel ſteht. Den Tag über kann der Mond hinſichtlich ſeines Lichtes kaum von einer ſolchen Wolke unterſchieden werden, und in der Abenddämmerung erblicken wir Wolken, welche die letzten Strahlen der Sonne empfangen, in einem blendenden Glanze, welcher dem Mondlichte des Abends nicht nachſteht. Daß die Erde den Mond ebenfalls beleuchtet, nur wegen ihrer beträchtlichen Größe *) ohne Zweifel mit einem weit ſtärkeren Lichte, iſt den optiſchen Grundſätzen gemäß, und es erklärt ſich dadurch

---

*) Der ſcheinbare Durchmeſſer des Mondes beträgt von der Erde aus 32′; derjenige der Erde, vom Mond aus geſehen, beträgt das Doppelte der Horizontalparallaxe des letztern, oder 1° 54′. Die ſcheinbaren Oberflächen beider Körper verhalten ſich deshalb wie $(114)^2 : (32)^2$ oder beinahe wie 13:1.

die Sichtbarkeit des dunkeln Theiles des jungen Mondes, welcher das Complement der Sichel deſſelben bildet (Art. 350.). Denn wenn der Mond für die Erde nahe Neumond iſt, ſo iſt letztere für den erſteren, um uns des Ausdruckes zu bedienen, beinahe voll; es wird dann ſeine dunkele Hälfte durch das ſtarke Erdenlicht erleuchtet, und ein Theil deſſelben, welcher zurückgeworfen wird, macht ſie uns in der Dämmerung ſichtbar. Je mehr der Mond zunimmt, deſto weniger bietet ihm die Erde von ihrer erleuchteten Seite dar, und die fragliche Erſcheinung verſchwindet allmählig.

353) Der Mondsmonat wird beſtimmt durch die Wiederkehr der Phaſen des Mondes. Er wird von einem Neumond bis zum andern gerechnet, d. h. von dem Moment an, wo der Mond aus ſeiner Conjunction mit der Sonne tritt, bis dahin, wo er wieder in dieſelbe zurückkehrt. Wenn die Sonne ſtill ſtände, wie ein Fixſtern, ſo würde der Zeitraum zwiſchen zwei auf einander folgenden Conjunctionen dem ſideriſchen Umlaufe des Mondes (Art. 338.) gleich ſeyn; da aber die Sonne am Himmel ſcheinbar in einerlei Richtung mit dem Monde, nur langſamer als dieſer fortſchreitet, ſo hat letzterer mehr als einen vollſtändigen ſideriſchen Umlauf zu machen, um die Sonne wieder einzuholen, und braucht mithin dazu eine längere Zeit, was eben den Mondsmonat giebt, oder wie man ſich in der Aſtronomie auszudrücken pflegt, den ſynodiſchen Umlauf des Mondes. Die Differenz zwiſchen ihm und dem ſideriſchen Umlaufe iſt leicht zu berechnen, wenn man erwägt, daß der überſchüſſige Bogen (wie groß er auch ſeyn möge) von der Sonne beſchrieben wird mit ihrer täglichen Geſchwindigkeit von 0°,98565 in der nemlichen Zeit, in welcher der Mond dieſen Bogen und außerdem einen vollſtändigen ſideriſchen Umlauf mit ſeiner täglichen Geſchwindigkeit von 13°,17640 beſchreibt; und da alſo dieſe beiden Zeiten identiſch ſind, ſo verhalten ſich die beſchriebenen Räume zu einander, wie die Geſchwindigkeiten.*) Aus dieſen Angaben kann

*) V und v mögen die mittelbaren Winkelgeſchwindigkeiten des Mondes und der Sonne, x den überſchüſſigen Bogen

man bei nur geringer Kenntniß der Arithmetik den fraglichen Bogen; ſo wie auch die Zeit berechnen, in welcher er vom Monde beſchrieben wird; und da dieſe der Ueberſchuß des ſynodiſchen über den ſideriſchen Umlauf iſt, ſo bekommt man für erſteren 29 Tage 12 Stunden 44 Minuten 2,87 Sekunden.

354) Wenn der Mond in A (Fig. 48.) ſteht (oder wenn es Neumond iſt), und die Lage der Knoten der Mondsbahn es geſtattet, ſo fängt er einen Theil oder ſämmtliche Sonnenſtrahlen auf und verurſacht dadurch eine Sonnenfinſterniß. Steht er dagegen in E, (oder iſt es Vollmond,) ſo wird die Erde O die Strahlen der Sonne auffangen und einen *Schatten* auf den Mond *werfen*, wodurch eine *Mondsfinſterniß* entſteht. Und dieſes ſtimmt mit der Erfahrung vollkommen überein, indem letztere Finſterniſſe zu keiner andern Zeit, als der des Vollmondes, eintreten. Aber noch weit merkwürdiger iſt es, indem es die ſphäriſche Geſtalt der Erde beſtätigt, daß nämlich dieſer Schatten, den man ganz deutlich auf der Mondsſcheibe vorrücken und ſie gewiſſermaßen ganz verſchlingen ſieht, immer einen kreisrunden Umriß hat, obſchon man denſelben wegen der beträchtlicheren *Größe* des Kreiſes jedesmal nur theilweiſe erblicken kann. Ein Körper aber, welcher *immer* einen kreisrunden Schatten wirft, muß ſelbſt eine ſphäriſche Geſtalt haben.

355) Sonnenfinſterniſſe laſſen ſich am leichteſten begreifen, indem man die Sonne und den Mond als zwei von der Erde aus geſehene, unabhängige Weltkörper betrachtet, von denen ſich jeder nach bekannten Geſetzen bewegt; aber es iſt auch lehrreich, Finſterniſſe im Allgemeinen ſo zu betrachten, als entſtänden ſie aus

---

bezeichnen, ſo hat man $V : v = 1 + x : x$, oder $V - v : v = 1 : x$, woraus ſich x finden läßt; alsdann iſt $\frac{x}{v} =$ der Zeit, in welcher x oder die Differenz des ſynodiſchen und ſideriſchen Umlaufes beſchrieben wird. Wir werden Gelegenheit haben, dieſes wieder zu benutzen.

dem Schatten eines Körpers, welcher auf einen andern durch einen leuchtenden Weltkörper geworfen wird, der weit größer, als jene beiden, iſt. Es bezeichne (Fig. 49. a.) AB die Sonne, und CD einen ſphäriſchen Weltkörper, entweder die Erde oder den Mond, welcher von erſterer erleuchtet wird. Zieht man nun die Linien AC, BD, und verlängert dieſelben, ſo werden ſie, weil AB größer iſt, als CD, in einem Punkte E ſich ſchneiden, der, je nach der Größe des Körpers CD, mehr oder weniger von ihm entfernt liegt; und in dem Raume CED (der einen Kegel bildet, weil CD und AB Kugeln ſind) wird gänzlicher Schatten ſeyn. Ein in dieſem Schatten (dem ſogenannten Kernſchatten) befindlicher Beobachter kann keinen Theil der Sonnenſcheibe ſehen. Außerhalb dieſes Kernſchattens ſind zwei divergirende Räume (oder vielmehr ein Theil eines einzigen koniſchen Raumes, deſſen Scheitel in K iſt, wo ein Beobachter z. B. in M, nur ein Stück AONP von der Oberfläche der Sonne ſehen wird, indem der übrige Theil BONP von der Erde verdeckt iſt. Er bekommt deshalb nur partiellen Sonnenſchein, und zwar um ſo mehr, je näher er ſich an den äußern Rändern dieſes letztern Kegels befindet, den man den Halbſchatten nennt. Außerhalb deſſelben wird er die ganze Sonne ſehen und die volle Beleuchtung derſelben haben. Alle dieſe Umſtände kann man ſehr deutlich zeigen, wenn man eine kleine Kugel in die Sonne hält, und ihren Schatten in verſchiedenen Entfernungen auf ein Blatt Papier fallen läßt.

356) Bei einer Mondsfinſterniß, welche in Fig. 49. a dargeſtellt iſt, ſieht man den Mond zuerſt in den Halbſchatten treten und nach und nach in den Kernſchatten übergehen, wobei der erſtere den letzteren wie ein Nebel umgiebt. Wegen der beträchtlichen Größe der Erde ragt der Kegel ihres Kernſchattens immer weit über den Mond hinaus, ſo daß, wenn zur Zeit der Finſterniß die Bahn des Mondes die geeignete Lage hat, derſelbe nothwendig durch dieſen Kernſchatten ſeinen Weg nehmen muß. Bei den Sonnenfinſterniſſen iſt dieſes aber nicht der Fall. In Folge der Größe und der Entfernung des Mondes trifft es ſich,

daß das Ende ſeines Kernſchattens immer in die Nähe der Erde fällt, dabei jedoch manchmal ihre Oberfläche erreicht, manchmal aber auch nicht. In dem erſten Falle, welcher in Fig. 49. b. dargeſtellt iſt, entſteht ein ſchwarzer Fleck, von einem ſchwächeren Schatten umgeben, außerhalb deſſen kein Theil der Erde verfinſtert wird; aber innerhalb dieſes Fleckes kann entweder eine totale, oder eine partiale Finſterniß ſtattfinden, je nachdem ſich der Beobachter im Kernſchatten, oder im Halbſchatten befindet. Wenn die Spitze des Schattens gerade auf die Erdoberfläche fällt, ſo wird der Mond an dieſem Punkte für einen Augenblick die Sonne eben bedecken. Wenn aber die Schattenſpitze die Erde nicht erreicht, ſo findet für keinen Theil derſelben eine totale Finſterniß ſtatt; allein ein Beobachter, welcher ſich in oder nahe an der Verlängerung der Axe des Schattenkegels befindet, ſieht den ganzen Mond auf der Sonne, obgleich nicht groß genug, um ſie völlig zu bedecken, d. h. er ſieht eine ringförmige Sonnenfinſterniß.

357) In Folge eines ſehr merkwürdigen Verhältniſſes zwiſchen den Perioden, in welchen der ſynodiſche Umlauf des Mondes und derjenige ſeiner Knoten vollendet wird, kehren die Finſterniſſe nach einem gewiſſen Zeitraume ſehr nahe in derſelben Ordnung und in derſelben Größe wieder. Man wird nämlich finden, daß 223 mittlere ſynodiſche Mondsumläufe, oder ſogenannte Lunationen, 6585,32 Tage, und 19 vollſtändige ſynodiſche Umläufe des Knotens (d. h. mittlere Conjunctionen des Knotens mit der Sonne) 6585,78 Tage betragen. Die Differenz in der mittleren Lage des Knotens beim Anfang und am Ende der 223 Lunationen iſt demnach faſt unmerklich, ſo daß alle Finſterniſſe nach Verlauf dieſes Zeitraumes wiederkehren müſſen. Dieſe Periode von 223 Lunationen, oder 18 Jahren und 10 Tagen, iſt deshalb für die Berechnung der Finſterniſſe ſehr wichtig. Man glaubt, daß ſie ſchon den Chaldäern unter dem Namen Saros bekannt geweſen ſey; denn die regelmäßige Rückkehr der Finſterniſſe iſt, als eine phyſiſche Thatſache, um viele Jahr-

hunderte früher, als die richtige Theorie derſelben, bekannt geweſen.

358) Der Anfang, die Dauer und die Größe ſind bei einer Mondsfinſterniß weit leichter zu berechnen, als bei einer Sonnenfinſterniß, indem bei jener der Ort des Beobachters auf der Oberfläche der Erde nicht in Berückſichtigung kommt, und dieſelbe ſich eben ſo darſtellt, als wenn ſie vom Mittelpunkte der Erde aus geſehen würde. Der gemeinſchaftliche Mittelpunkt des Kernſchattens und des Halbſchattens befindet ſich immer in der Ekliptik an dem der Sonne gerade gegenüber liegenden Punkte, und der Weg, welchen der Mond nimmt, indem er durch dieſen Schatten geht, iſt ſeine wahre Bahn, wie ſie im Augenblicke des Vollmondes liegt. Sein Ort in dieſer Bahn iſt für jeden Augenblick aus den Mondstafeln und den aſtronomiſchen Ephemeriden bekannt; und alles, was uns noch zu beſtimmen bleibt, iſt folglich der Augenblick, in welchem die Entfernung der Mittelpunkte des Mondes und des Schattens genau gleich iſt der Summe der Halbmeſſer des Mondes und des Halbſchattens, oder des Mondes und des Kernſchattens, um zu erfahren, wann der Mond, beziehungsweiſe, in dieſelben eintritt und ſie wieder verläßt.

359) Um die Dimenſionen des Schattens an dem Orte, wo die Mondsbahn ihn durchſchneidet, kennen zu lernen, muß man für dieſe Zeit die Entfernungen der Sonne und des Mondes von der Erde wiſſen. Dieſe ſind veränderlich; aber ſie ſowohl, als auch die Halbmeſſer jener Himmelskörper findet man für jeden Tag in den aſtronomiſchen Ephemeriden angegeben, ſo daß alſo keines dieſer Data fehlt. Die Entfernung der Sonne läßt ſich leicht aus ihrer elliptiſchen Bahn berechnen; jene des Mondes iſt aber ſchwieriger zu finden, aus einem Grunde, der jetzt erklärt werden ſoll.

360) Die Bahn des Mondes iſt, wie wir ſchon oben angedeutet haben, ſtreng genommen, keine Ellipſe, die in ſich ſelbſt zurückläuft, und zwar wegen der Veränderung der Ebene, in welcher ſie liegt, oder wegen der Bewegung ihrer Knoten. Aber ſelbſt hiervon abgeſehen,

ändert auch die Axe der Ellipſe beſtändig ihre Richtung im Raume, wie wir es bereits in Bezug auf die Sonnen-Ellipſe bemerkt haben, nur hier bei weitem geſchwinder, indem ſie, in gleicher Richtung mit der eigenen Bewegung des Mondes, einen vollſtändigen Umlauf in 3232,5753 mittleren Sonnentagen macht oder in etwa 9 Jahren, was bei einem ganzen Mondsumlaufe ohngefähr 3° Winkelbewegung beträgt. Dieſes iſt die Erſcheinung, welche unter dem Namen des Umlaufes der Apſiden des Mondes bekannt iſt. Der Grund derſelben wird weiter unten erklärt werden. Die unmittelbare Folge davon iſt, daß ſie eine Veränderung der Entfernung des Mondes von der Erde hervorbringt, welche nicht in den Geſetzen einer rein elliptiſchen Bewegung enthalten iſt. Bei einem einzigen Mondsumlaufe iſt dieſe Veränderung der Entfernung nicht bedeutend, aber nach mehreren derſelben wird ſie beträchtlich, wovon man ſich leicht überzeugen kann, wenn man erwägt, daß nach 4 ½ Jahren die Axe völlig umgekehrt iſt, und alſo die Erdferne des Mondes ſich da befindet, wo vorher die Erdnähe war.

361) Die beſte Art, ſich eine deutliche Vorſtellung von der Bewegung des Mondes zu machen, beſteht darin, ſie ſo zu betrachten, als beſchreibe derſelbe eine Ellipſe, in deren einem Brennpunkte die Erde ſtehe, und zu gleicher Zeit anzunehmen, daß dieſe Ellipſe ſich auf eine zweifache Weiſe umdrehe, nämlich: 1) in ihrer eigenen Ebene, durch ein beſtändiges Fortſchreiten ihrer Axe in dieſer Ebene; und 2) durch eine beſtändige drehende Bewegung der Erde ſelbſt, welche derjenigen des Erdäquators in Folge der koniſchen Bewegung der Erdaxe (wie ſie in Art. 266 beſchrieben worden iſt) genau ähnlich, nur weit geſchwinder iſt.

362) Die phyſiſche Beſchaffenheit des Mondes iſt uns beſſer bekannt, als diejenige irgend eines anderen Himmelskörpers. Mit Hülfe der Fernröhre bemerken wir Unebenheiten auf ſeiner Oberfläche, die nichts anderes, als Berge und Thäler ſeyn können, und zwar aus dem einfachen Grunde, weil wir die von den Bergen geworfenen Schatten, rückſichtlich ihrer Länge, ge-

rade in dem Verhältniſſe erblicken, welches ſie haben müſſen, wenn wir die Neigung der Sonnenſtrahlen gegen denjenigen Theil der Oberfläche des Mondes, auf welchem ſie ſtehen, in Erwägung bringen. Der convexe Umriß des der Sonne zugewendeten Mondrandes iſt immer kreisförmig und beinahe ganz glatt; aber der gegenüber liegende Rand des erleuchteten Theiles, welcher (wenn der Mond eine vollkommene Kugel wäre) eine genaue und ſcharf begrenzte Ellipſe ſeyn müßte, wird immer ſehr zackig und voll tiefer Einſchnitte und vorragender Spitzen beobachtet. Die in der Nähe dieſes Randes oder der ſogenannten Lichtgränze befindlichen Berge werfen lange, ſchwarze Schatten, was ſie offenbar auch thun müſſen, wenn wir bedenken, daß die Sonne für die unter dieſen Umſtänden begriffenen Theile des Mondes eben aufgegangen iſt, oder untergehen will. Wenn aber die Lichtgränze über dieſelben hinausrückt, d. h. wenn die Sonne für dieſe Theile Höhe erlangt, ſo wird auch ihr Schatten kürzer; und zur Zeit des Vollmondes, wo alles Licht in unſere Geſichtslinie fällt, bemerken wir an keinem Theile der Mondsoberfläche dieſe Schatten. Aus mikrometriſchen Meſſungen der Schattenlänge vieler beſonders auffallender Berge, wobei immer die günſtigſten Umſtände benutzt worden ſind, hat man die Höhen mancher dieſer Berge berechnet, und den höchſten darunter ungefähr fünf engliſche Meilen hoch gefunden. Das Vorhandenſeyn ſolcher Berge wird auch noch dadurch beſtätigt, daß ſie ſelbſt über den äußerſten Rand der Lichtgränze hinaus ſichtbar ſind, und daſelbſt als kleine erleuchtete Punkte oder Inſeln erſcheinen. Dieſe Punkte ſind die Gipfel dieſer Berge, welche die Sonnenſtrahlen früher, als die zwiſchenliegende Ebene auffangen, und die, wenn die Sonne höher ſteigt, ſich endlich mit den dadurch erleuchteten niedereren Theilen verbinden und an der allgemeinen Lichtgränze Vorragungen erſcheinen.

363) Die Berge im Monde gewähren im Allgemeinen einen auffallend gleichförmigen und ſeltſamen Anblick. Sie ſind außerordentlich zahlreich, nehmen bei weitem den größeren Theil der Oberfläche ein, und

haben faſt durchgehends eine genau kreisförmige oder becherartige Geſtalt, die jedoch gegen den Rand des Mondes hin elliptiſch erſcheint; und die größeren haben meiſtentheils inwendig einen ebenen Boden, aus deſſen Mittelpunkte ein kleiner, ſteiler, koniſcher Hügel ſich erhebt. Mit einem Worte, ſie bieten den wahren vulkaniſchen Character in höchſter Vollendung dar, wie man ihn im Crater des Veſuvs und auf einer Charte der vulkaniſchen Diſtricte der Phlegräiſchen Felder *) oder des Puy de Dôme ſehen kann. Bei einigen der Hauptberge kann man auch deutliche Spuren vulkaniſcher Schichtenbildung, aus ſucceſſiven Ablagerungen ausgeworfenen Stoffes hervorgegangen, mit guten Fernröhren deutlich erkennen. **) Was außerdem in der Geologie des Mondes ſich als äußerſt merkwürdig darſtellt, iſt der Umſtand, daß obſchon man nichts entdecken kann, was den Character des Meeres an ſich trüge (denn die großen dunkeln Flecke, welche man gewöhnlich Meere genannt hat, bieten bei genauer Unterſuchung Erſcheinungen dar, welche mit der Annahme von tiefem Waſſer nicht verträglich ſind), es doch große, vollkommen ebene Diſtricte giebt, die augenſcheinlich einen entſchiedenen alluvialen Character beſitzen.

364) Der Mond hat keine Wolken, noch irgend andere Merkmale einer Atmoſphäre. Wäre eine ſolche vorhanden, ſo müßte ſie unfehlbar bei den Sternbedeckungen und Sonnenfinſterniſſen bemerkt werden. Das Clima des Mondes muß deßhalb ganz außerordentlich ſeyn; ein ungemilderter und brennender Sonnenſchein, von größerer Gluth als Mittags unter dem Aequator, volle 14 Tage dauernd, muß mit der heftigſten Strenge des Froſtes abwechſeln, der, auf eben ſo lange Zeit, die Kälte unſerer Polarwinter bei weitem übertrifft. Eine ſolche Einrichtung der Dinge muß eine beſtändige

*) Siehe Breislak's Charte der Umgegend von Neapel, und Desmareſt's Charte von Auvergne.

**) Nach meinen eigenen Beobachtungen. — Der Verfaſſer.

Translocation aller Feuchtigkeit auf der Oberfläche des Mondes, von dem Punkte unter der Sonne nach dem entgegengeſetzten hin, durch eine Deſtillation im luftleeren Raume bewirken; nach Art des kleinen, unter dem Namen Cryophorus bekannten Inſtrumentes. Die Folge davon muß abſolute Dürre unter der ſenkrechten Sonne, beſtändiger Anwachs von Reif in der gegenüber liegenden Region, und vielleicht eine ſchmale Zone von flüſſigem Waſſer an dem Rande der erleuchteten Halbkugel ſeyn. Es wäre alſo möglich, daß Verdunſtung einerſeits und Verdichtung andererſeits bis zu einer gewiſſen Grenze ein Gleichgewicht der Temperatur erhalten und die äußerſten Extreme beider Climate mildern können.*)

365) Ein Kreis von einer Sekunde im Durchmeſſer, von der Erde aus auf der Oberfläche des Mondes geſehen, enthält etwa eine engliſche Quadratmeile. Die Fernröhre müſſen deshalb noch ſehr vervollkommnet werden, ehe wir daran denken dürfen, Spuren von Bewohnern zu erkennen, die ſich etwa durch Gebäude, oder durch Veränderungen an der Oberfläche des Bodens kund geben. Es muß indeſſen bemerkt werden, daß, wegen der geringen Dichtigkeit der Stoffe auf dem Monde und wegen der verhältnißmäßig geringen Schwere der Körper auf ſeiner Oberfläche, die Muskelkraft dort ſechsmal weiter reicht, als auf der Erde, um das Gewicht der Körper zu überwinden. Wegen des Mangels an Luft ſcheint es gleichwohl unmöglich zu ſeyn, daß eine unſerem Erdenleben analoge Form auf dem Monde beſtehen könne. Man kann nirgends auf dem Monde die geringſte Spur von Vegetation, oder die geringſte Veränderung der Oberfläche bemerken, die ſich mit gutem Grunde einer Veränderung der Jahreszeit zuſchreiben ließe.

---

*) Man ſehe über dieſe hypothetiſchen Gegenſtände auch die Anſichten Schröter's in deſſen bekanntem Werke: „Selenotopographiſche Fragmente zur genaueren Kenntniß der Mondfläche.“ N.

366) Sommer und Winter auf dem Monde entſtehen eigentlich aus der Umdrehung des Mondes um ſeine eigene Axe, deren Periode genau gleich iſt dem ſideriſchen Umlaufe deſſelben um die Erde, und die in einer Ebene erfolgt, welche 1° 30′ 11″ gegen die Ekliptik geneigt und deshalb auch beinahe mit der eigenen Bahn des Mondes zuſammenfallend iſt. Darin liegt der Grund, warum wir immer dieſelbe Seite des Mondes ſehen und die andere gar nicht kennen. Dieſes merkwürdige Zuſammentreffen zweier Perioden, die auf den erſten Blick nichts mit einander gemein zu haben ſcheinen, wird als eine Folge der allgemeinen Geſetze betrachtet, welche wir weiter unten erklären werden.

367) Die Umdrehung des Mondes um ſeine Axe iſt gleichförmig; aber weil die Bewegung deſſelben in ſeiner Bahn (wie diejenige der Sonne) nicht gleichförmig iſt, ſo können wir, bis auf einige Grade, um die Aequatorialtheile ſeines ſichtbaren Randes je nach den Umſtänden auf der öſtlichen oder weſtlichen Seite, herum ſehen, oder mit andern Worten, die Linie, welche den Mittelpunkt der Erde und des Mondes verbindet, durchſchneidet die Oberfläche des letztern nicht immer an dem nämlichen Punkte, ſondern ſchwankt von ihrem mittleren Durchſchnitte derſelben ein wenig nach Oſten oder nach Weſten hin. Und da ferner die Axe, um welche der Mond ſich dreht, auf ſeiner Bahn nicht genau ſenkrecht ſteht, ſo werden auch ſeine Pole in geringer Entfernung vom nördlichen und ſüdlichen Rande der Mondsſcheibe abwechſelnd ſichtbar. Dieſe Erſcheinungen ſind bekannt unter dem Namen der Librationen oder Schwankungen des Mondes. In Folge dieſer beiden verſchiedenen Arten von Libration iſt derſelbe identiſche Punkt der Oberfläche des Mondes nicht immer der Mittelpunkt ſeiner Scheibe, und wir bekommen deshalb, über eine genaue Halbkugel hinaus, noch eine Zone von einigen Graden Breite an allen Seiten des Randes zu Geſicht.

368) Wenn der Mond Bewohner hat, ſo muß ihnen die Erde als ein Mond von beinahe 2° Durchmeſſer erſcheinen und dieſelben Lichtgeſtalten darbieten, wie

uns der Mond; dabei wird ſie an dem dortigen Himmel unbeweglich feſt ſtehen (oder wenigſtens ihren ſcheinbaren Ort nur um den kleinen Betrag der Libration verändern), während die Sterne langſam neben und hinter ihr vorbei zu gehen ſcheinen. Die Erde wird mit veränderlichen Flecken bewölkt und mit Aequatorial= und tropiſchen Zonen, die unſern Paſſatwinden entſprechen, umgürtet erſcheinen; und es läßt ſich noch bezweifeln, ob bei dem beſtändigen Wechſel derſelben, die Umriſſe unſerer Feſtländer und Meere jemals deutlich erkannt werden können.

Siebentes Kapitel.

Von der Schwere auf der Erde und dem allgemeinen Gravitationsgeſetze. — Scheinbare und wahre Bahn der geworfenen Körper. — Der Mond wird in ſeiner Bahn durch ſeine Schwere gegen die Erde erhalten. — Geſetze der Abnahme der Schwere. — Geſetze der elliptiſchen Bewegung. — Bahn der Erde um die Sonne in Uebereinſtimmung mit dieſen Geſetzen. — Maſſe der Erde im Vergleich mit der Sonnenmaſſe. — Dichtigkeit der Sonne. — Kraft der Schwere auf ihrer Oberfläche. — Störung der Bewegung des Mondes durch die Sonne.

369) Der Leſer kennt jetzt die Haupterſcheinungen der Bewegungen der Erde um die Sonne und des Mondes um die Erde. Nunmehr kommen wir auf die phyſiſche Urſache zu ſprechen, welche dieſe Bewegungen unterhält und fortſetzt, und welche bewirkt, daß die maſſiven auf dieſe Weiſe umlaufenden Körper beſtändig von den Richtungen abweichen, welche ſie, dem erſten Geſetze aller Bewegung gemäß, natürlich zu ver-

folgen ſtreben würden, und daß ſie ihren Lauf in Curven nehmen, die nach ihren Mittelpunkten hin concav ſind.

370) Welche Verſuche auch metaphyſiſche Schriftſteller gemacht haben mögen, den Zuſammenhang von Urſache und Wirkung wegzuraiſonniren und ihn in das nicht genügende Verhältniß einer habituellen Anordnung*) herabzuziehen, ſo iſt es doch ausgemacht, daß die Idee einer etwas mehr beſagenden, wirklichen und innigen Verbindung zwiſchen beiden ſich dem menſchlichen Geiſte eben ſo ſehr aufdringt, als diejenige der Exiſtenz einer äußeren Welt (deren Realität zu behaupten, man, merkwürdig genug! als einen Act von nicht geringem Verdienſt in den Annalen dieſes Zweiges der Philoſophie geprieſen hat). Es iſt unſer eigenes unmittelbares Bewußtſeyn der Anſtrengung, wenn wir Kraft äußern, um Stoff in Bewegung zu ſetzen, oder um Kraft zu hemmen und zu neutraliſiren, durch welches Bewußtſeyn wir jene innere Ueberzeugung der Macht und des Verurſachens erlangen, inſoweit ſie ſich auf die materielle Welt beziehen, und wodurch wir zu dem Glauben gezwungen werden, daß, ſobald wir Körper aus dem Zuſtande der Ruhe in Bewegung geſetzt, oder von ihren geradlinigen Bahnen abgelenkt und in ihren Geſchwindigkeiten, wenn ſie ſich bereits in Bewegung befinden, verändert erblicken, dieſes die Folge einer ſolchen auf irgend eine Art ſtattge-

*) Siehe Brown „On Cause and Effect", ein Werk von großer Schärfe und Feinheit im Raiſonnement über einzelne Punkte, in welchem aber die ganze Schlußfolge durch ein einziges ſehr großes Verſehen fehlerhaft geworden iſt, nämlich durch die Auslaſſung eines beſtimmten und unmittelbaren perſönlichen Bewußtſeins des Verurſachens bei ſeiner Darſtellung jener Anordnung der Ereigniſſe, wodurch das Wollen des Geiſtes bei der Bewegung materieller Gegenſtände endet. Ich meine das Bewußtſeyn von Anſtrengung, als etwas ganz Verſchiedenem von dem bloßen Verlangen oder Wollen auf der einen, und von blos krampfhafter Zuſammenziehung der Muskeln auf der anderen Seite. Brown 3. edit. Edinburgh 1818, p. 57. — Der Verfaſſer.

fundenen, obſchon nicht mit unſerm Bewußtſeyn begleiteten, Kraftäußerung ſey. Daß eine ſolche Kraftäußerung durch einen zwiſchenliegenden Raum hindurch mit Erfolg ausgeübt werden könne, iſt nicht ſchwerer zu begreifen, als daß unſere Hand einem Steine Bewegung mitzutheilen vermag, mit welchem ſie ſich erweislich nicht in Berührung befindet.

371) Alle Körper, mit welchen wir bekannt ſind, fallen, wenn ſie in die Luft gehoben und ſich ſelbſt ruhig überlaſſen werden, ſenkrecht auf die Oberfläche der Erde herab. Sie werden folglich dahin durch eine Kraft oder durch eine Anſtrengung getrieben, welche das directe oder indirecte Reſultat eines Bewußtſeyns und eines Willens iſt, der irgend wo exiſtirt, obgleich wir nicht im Stande ſind, ihn nachzuweiſen, und dieſe Kraft nennen wir die Schwere. Das Streben oder die Richtung derſelben geht, wie die allgemeine Erfahrung lehrt, nach dem Mittelpunkte der Erde, oder vielmehr, wenn wir die ſphäroidiſche Geſtalt derſelben berückſichtigen, ſenkrecht auf die Oberfläche des ruhigen Waſſers. Wenn wir aber einen Körper ſchräg in die Luft werfen, ſo wird dieſes Streben, obſchon nicht aufgehoben oder vermindert, doch in ſeiner endlichen Wirkung weſentlich modificirt. Das Streben nach oben, welches wir dem Steine geben, wird zwar nach einiger Zeit aufgehoben, und ihm ein Streben nach unten mitgetheilt, das ihn endlich auf die Oberfläche der Erde bringt, wo er in ſeinem ferneren Fortſchreiten gehemmt wird und in den Zuſtand der Ruhe gelangt. Aber die ganze Zeit hindurch iſt er beſtändig von ſeinem geradlinigen Wege abgelenkt und beſtimmt worden, eine krumme Linie zu beſchreiben, welche nach dem Mittelpunkt der Erde hin concav iſt; auch hat derſelbe einen höchſten Punkt, Scheitelpunkt oder eine Erdferne, gerade ſo wie der Mond in ſeiner Bahn, wo die Richtung ſeiner Bewegung ſenkrecht auf dem, bis zu ihm verlängerten Erdradius iſt.

372) Wenn der Stein, welchen wir ſchräg aufwärts ſchleudern, bei ſeinem Herabfallen die Oberfläche

der Erde erreicht und von derſelben zur Ruhe gebracht wird, ſo iſt in dieſem Augenblicke ſeine Bewegung nicht gegen den Mittelpunkt der Erde gerichtet, ſondern ſie neigt ſich gegen den entſprechenden Erdradius unter demſelben Winkel, unter welchem der Stein unſere Hand verließ. Da wir überzeugt ſind, daß derſelbe, wenn er nicht durch den Widerſtand der Erde gehemmt worden wäre, fortfahren würde, nieder zu ſteigen, und zwar in ſchräger Richtung, ſo können wir die Fragen aufwerfen: Welche Präſumtion iſt vorhanden, daß er jemals den Mittelpunkt der Erde erreichen werde, gegen welchen ſeine Bewegung in keinem einzigen Theile ſeiner ſichtbaren Bahn gerichtet war? Welchen Grund haben wir, zu glauben, daß er nicht vielmehr um denſelben ſeinen Lauf fortſetzen werde, wie auch der Mond um die Erde läuft, und daß er nicht endlich zu dem Punkt, von welchem er ausgieng, zurückkehren werde, nachdem er eine elliptiſche Bahn beſchrieben hat, deren unterer Brennpunkt der Mittelpunkt der Erde iſt? Und wenn dieſes der Fall iſt, läßt ſich alsdann nicht mit Grund annehmen, daß dieſelbe Schwerkraft (da wir einmal wiſſen, daß ſie in allen zugänglichen Höhen über der Erdoberfläche und ſelbſt in den höchſten Regionen der Atmoſphäre ausgeübt wird) ſich bis auf 60 Erdhalbmeſſer weit von der Erde, oder bis zum Monde, in ihrer Wirkſamkeit erſtrecken könne? Und ſollte nicht gerade ſie die Kraft ſeyn (denn irgend eine Kraft muß es ſeyn), welche den Mond in jedem Augenblicke von der Tangente ſeiner Bahn ablenkt und ihn den elliptiſchen Lauf vollenden läßt, den er, wie uns die Erfahrung lehrt, wirklich verfolgt?

373) Wenn ein Stein an dem Ende einer Schnur in kreisförmigen Umſchwung verſetzt wird, ſo ſpannt er die Schnur durch eine Centrifugalkraft, welche, wenn die Geſchwindigkeit der Umdrehung hinreichend geſteigert wird, endlich die Schnur zerreißt und den Stein frei läßt. Wie ſtark auch die Schnur iſt, ſo kann ſie dennoch durch eine hinlängliche Umdrehungsgeſchwindigkeit des Steines in die äußerſte Spannung

verſetzt werden, welche ſie, ohne zu zerreißen, eben noch auszuhalten vermag; und wenn wir wiſſen, welches Gewicht ſie zu tragen im Stande iſt, ſo läßt ſich die für jenen Zweck nöthige Umſchwungsgeſchwindigkeit leicht berechnen. Nehmen wir nun an, eine Schnur verbinde den Mittelpunkt der Erde mit einem Gewichte an ihrer Oberfläche, und die Stärke dieſer Schnur ſey gerade ausreichend, um das an ihr aufgehangene Gewicht zu tragen, wobei wir indeſſen uns auf einen Augenblick denken wollen, daß keine Schwere beſtehe, und daß das Gewicht mit der äußerſten Geſchwindigkeit, welche dieſe Schnur, ohne zu zerreißen, eben aushalten kann, in Umſchwung verſetzt werde: ſo wird die Spannung derſelben dem Gewichte des umſchwingenden Körpers gerade gleich ſeyn; und jede Kraft, welche den Körper beſtändig mit einer, ſeinem Gewichte gleichen, Gewalt gegen den Mittelpunkt treibt, könnte den Dienſt und die Stelle der Schnur erſetzen, wenn letztere zerſchnitten würde. Man zerſchneide ſie alſo, und laſſe ſtatt ihrer die Schwerkraft wirken, ſo wird der Körper, wie vorher, ſeinen Umſchwung machen, und ſein Streben gegen den Mittelpunkt hin, oder ſein Gewicht, wird durch ſeine Centrifugalkraft genau balancirt ſeyn. Iſt uns der Halbmeſſer der Erde bekannt, ſo ſind wir im Stande, die Zeit zu berechnen, in welcher ein ſo balancirter Körper ſeinen Umſchwung vollenden muß, um dieſes Gleichgewicht zu erhalten; und dieſe Umlaufszeit wird **1** Stunde **23** Minuten **22** Sekunden betragen.

374) Wenn wir dieſelbe Berechnung für einen Körper in der Entfernung des Mondes anſtellen und dabei annehmen, daß ſein Gewicht oder ſeine Schwere dieſelbe ſey, wie an der Oberfläche der Erde, ſo werden wir finden, daß die ererforderliche Umlaufszeit **10** Stunden **45** Minuten **30** Sekunden beträgt. Die wirkliche Umlaufszeit des Mondes beträgt indeſſen **27** Tage **7** Stunden **43** Minuten: und daraus geht ſogleich hervor, daß die Geſchwindigkeit des Mondes nicht ausreichend iſt, ihn gegen eine ſolche Kraft zu unterſtützen, indem man dabei an=

nimmt, daß er ſich in einem Kreiſe umdrehe, oder indem man (für den Augenblick) die geringe Ellipticität ſeiner Bahn bei Seite ſetzt. Damit ein Körper in der Diſtanz des Mondes (oder der Mond ſelbſt) im Stande ſey, ſich in ſeiner Entfernung von der Erde durch die Wirkung ſeiner Centrifugalkraft zu erhalten, während ſeine Umlaufszeit wirklich diejenige des Mondes iſt, muß nach den Grundſätzen der Mechanik, die Schwerkraft in jener Entfernung beinahe 3600 mal ſchwächer, als an der Oberfläche der Erde ſeyn, oder mit andern Worten, die Intenſität der Schwerkraft muß durch die Entfernung des Körpers, auf welchen ſie wirkt, ſo verringert werden, daß ſie, in der nämlichen Zeit, nur $^1/_{3600}$ derjenigen Bewegung in in ihm hervorbringen kann, welche ſie derſelben Körpermaſſe an der Oberfläche der Erde mittheilen würde.

375) Die Entfernung des Mondes vom Mittelpunkte der Erde beträgt etwas weniger, als die ſechzigfache Entfernung der Oberfläche der Erde vom Mittelpunkte derſelben, und es iſt $3600 : 1 = 60^2 : 1^2$; ſo daß das Verhältniß, in welchem wir annehmen müſſen, daß die Schwerkraft der Erde in der Entfernung des Mondes geſchwächt werde, wenn ſie wirklich die Kraft iſt, die den Mond in ſeiner Bahn erhält, wenigſtens in dieſem beſondern Falle dasjenige des Quadrates der Entfernungen, mit welchen wir ſie vergleichen, ſeyn müſſe. In einer ſolchen Abnahme der Kraft mit der Zunahme der Entfernung liegt nun auf den erſten Blick nichts unzuläſſiges. Ausflüſſe von einem Mittelpunkte, wie z. B. Licht und Wärme, verlieren wirklich an Intenſität mit der Zunahme der Entfernung, und zwar ganz in demſelben Verhältniſſe; und obgleich wir aus dieſer Analogie allerdings keinen großen Beweis ableiten können, ſo finden wir doch, daß die Kraft magnetiſcher und elektriſcher Anziehungen und Abſtoſſungen durch die Entfernung wirklich geſchwächt werde, und zwar weit raſcher, als in dem einfachen Verhältniſſe der zunehmenden Entfernungen. Der Gegenſtand liegt demnach ſo: Auf der einen Seite iſt die Schwere

eine wirkliche Kraft, von deren Wirkſamkeit wir täglich Beweiſe haben. Wir wiſſen, daß ſie ſich bis zu den größten zugänglichen Höhen, ja noch weit darüber hinaus, erſtreckt; und es iſt wohl kein Grund vorhanden, aus welchem wir in irgend einer beſtimmten Höhe eine Linie ziehen und behaupten könnten, daß hier die Schwere gänzlich aufhören müſſe, obſchon die Analogie uns mehrere Gründe für die Annahme darbietet, daß die Wirkſamkeit der Schwerkraft in großen Entfernungen von der Erdoberfläche, z. B. in derjenigen des Mondes, in einem ſehr raſchen Verhältniſſe abnehmen müſſe. Auf der andern Seite haben wir die Ueberzeugung, daß der Mond von irgend einer Kraft gegen die Erde getrieben und durch ſie in ſeiner Bahn erhalten werde, und daß zugleich die Intenſität dieſer Kraft von der Art ſey, um einer, in dem (ſonſt nicht unwahrſcheinlichen) Verhältniſſe der Quadrate der Entfernungen verminderten Schwere zu entſprechen. Wenn die Schwere dieſe Kraft nicht iſt, ſo muß es irgend eine andere Kraft geben; und außerdem müßte alsdann die Schwere ſchon in einer weit geringern Entfernung zu wirken aufhören, oder die Beſchaffenheit des Mondes müßte von derjenigen des ponderabeln Stoffes ganz verſchieden ſeyn; denn wenn dieſes nicht der Fall wäre, ſo würde der Mond von beiden Kräften und deshalb zu ſtark gegen die Erde gezogen und aus ſeiner Bahn nach innen zu getrieben werden.

376) Auf dieſe Schlüſſe ſoll Newton zuerſt und vorläufig ſein Geſetz der allgemeinen Gravitation gegründet haben, welches man folgendermaßen ausdrücken kann: —

„Jedes Maſſentheilchen im Weltalle zieht jedes andere Theilchen mit einer Kraft an, die ſich direct, wie die Maſſe des anziehenden Theilchens, und umgekehrt, wie das Quadrat der Entfernung beider verhält.“

In dieſer abſtracten und allgemeinen Form iſt indeſſen der Satz auf den vorliegenden Fall nicht anwendbar. Die Erde und der Mond ſind nicht blos Theilchen, ſondern große ſphäriſche Körper, und auf ſolche findet das allgemeine Geſetz nicht

unmittelbar ſeine Anwendung. Bevor wir es auf ſie anwenden können, müſſen wir unterſuchen, mit welcher Kraft eine Menge von Theilchen, die zuſammen eine feſte Maſſe von irgend einer gegebenen Geſtalt bilden, eine andere ſolche Anſammlung von Maſſentheilchen anziehen wird. Dieſe Aufgabe gehört ins Gebiet der Dynamik und iſt in ihrer allgemeinen Form äußerſt ſchwierig. Glücklicher Weiſe läßt ſie indeſſen eine leichte und directe Auflöſung zu, ſobald der anziehende und angezogene Körper Kugeln ſind. Newton ſelbſt hat dargethan (Principia Lib. I. Prop. 75.) daß in dieſem Falle die Anziehung genau dieſelbe ſey, als ob die ganze Maſſe jeder Kugel in ihrem Mittelpunkte vereinigt, und die Kugeln einzelne daſelbſt befindliche Maſſentheilchen wären, ſo daß alſo in dieſem Falle das allgemeine Geſetz, ſeinem genauen Wortlaute nach, Anwendung findet. Die Wirkung der geringen Abweichung der Erde von der Kugelgeſtalt iſt zu unbedeutend, um gegenwärtig eine Beachtung zu verdienen; ſie iſt indeſſen bemerkbar und wird ſpäter berückſichtiget werden.

377) Der nächſte Schritt in der Schlußfolgerung Newton's nimmt dem Geſetze der Gravitation ſeinen proviſoriſchen Character, der ihm aus einer leichten und oberflächlichen Betrachtung der Mondsbahn, als eines Kreiſes, welcher mit einer Durchſchnitts- oder mittleren Geſchwindigkeit beſchrieben wird, anfänglich zu Theil geworden war, und erhebt es zu dem Range eines allgemeinen und Urgeſetzes, indem er die Anwendbarkeit deſſelben auf alle einzelnen in der Natur vorkommenden Fälle zeigt. Dieſer Schritt beſteht in dem Beweiſe, den Newton geführt hat*): (Principia Lib. I. 17., Lib. I. 75.), daß unter dem Einfluſſe einer ſolchen Anziehungskraft, welche zwei ſphäriſche gravitirende Körper gegen einander treibt, jeder derſelben, wenn einer in der Nähe des andern ſich bewegt, eine Bahn durchlaufen müſſe,

*) Wir halten es für unſere Pflicht, hinſichtlich dieſer Grundſätze auf das unſterbliche Werk zu verweiſen, in welchem ſie zuerſt aufgeſtellt worden ſind. In unſerm gegenwärtigen

die gegen den andern Körper hin concav iſt, ſo daß ſie, einer um den andern, den man als unbeweglich betrachten kann, oder beide um ihren gemeinſchaftlichen Schwerpunkt, Curven beſchreiben, deren Formen ſich auf diejenigen Figuren beſchränken, welche in der Geometrie unter dem allgemeinen Namen der Kegelſchnitte bekannt ſind. Es wird nun, wie Newton zeigt, in irgend einem beſtimmten Falle von den beſondern Umſtänden der Geſchwindigkeit, der Entfernung und der Richtung abhängen, welche dieſer Curven beſchrieben werden müſſe, ob eine Ellipſe, ein Kreis, eine Parabel, oder eine Hyperbel; die eine oder die andere aber muß es ſeyn, und es kann der beſchriebene Kegelſchnitt jedwelchen Grad von Excentricität haben, je nach den beſondern Umſtänden des Falles. In allen Fällen aber iſt der Punkt, auf welchen ſich die Bewegung bezieht, mag es nun der Mittelpunkt einer der Kugeln, oder ihr gemeinſchaftlicher Schwerpunkt ſeyn, nothwendig der Brennpunkt des beſchriebenen Kegelſchnittes. Er zeigt ferner (Principia Lib. I. Prop. 1.), daß, in einem jeden Falle, die Winkelgeſchwindigkeit, mit welcher ſich die Linie bewegt, die ihre Mittelpunkte verbindet, ſich umgekehrt verhalten müſſe, wie das Quadrat dieſer ihrer gegenſeitigen Entfernung, und daß gleiche Flächenräume der beſchriebenen Curven von jener Verbindungslinie in gleichen Zeiten durchlaufen werden.

378) Dieſes alles iſt völlig übereinſtimmend mit dem, was wir über die Bewegungen der Sonne und des Mondes vorgetragen haben. Ihre Bahnen ſind Ellipſen, aber von verſchiedenem Grade von Excentricität; und dieſer Umſtand zeigt ſchon die allgemeine Anwendbarkeit der in Frage ſtehenden Grundſätze an.

Werke iſt es uns unmöglich, auf dieſe Unterſuchungen einzugehen; ſelbſt wenn es die Grenzen deſſelben geſtatteten, würde es mit unſerm Plane unverträglich ſeyn, doch wollen wir im nächſten Capitel einen allgemeinen Begriff über die Art und Weiſe geben, wie dieſe Unterſuchungen geführt worden ſind. Der Verfaſſer.

379) Aber hier haben wir bereits durch eine natürliche und leichte Folgerung (von ſolcher Art iſt immer der Fortſchritt der Generaliſation) faſt unbemerkt einen weitern und höchſt wichtigen Schritt gethan. Wir haben nämlich die Wirkung der Schwere auf den Fall der Erde und der Sonne, alſo auf eine ungleich größere Entfernung, als diejenige des Mondes, und auf einen Körper ausgedehnt, der augenſcheinlich eine von beiden ganz verſchiedene Natur hat. Sind wir dazu berechtigt? oder ſind, in Folge der Veränderung der Data, keine Modificationen, wenn auch nicht in den allgemeinen Ausdruck, doch wenigſtens in die beſondere Interpretation des Geſetzes der Gravitation einzuführen? In dem Augenblicke nun, wo wir die Zahlen zu Hülfe nehmen, überraſcht uns eine auffallende Ungereimtheit. Wenn wir nämlich, wie oben, aus der bekannten Entfernung der Sonne (Art. 304.) und aus der Zeit, in welcher die Erde um die Sonne läuft (Art. 327.), die Centrifugalkraft der Erde berechnen, durch welche die Anziehungskraft der Sonne balancirt wird (und welche deshalb für die Anziehungskraft, wie ſie die Sonne auf die Erde ausübt, ein genaues Maaß abgiebt), ſo finden wir ſie unermeßlich größer, als hinlänglich ſeyn würde, um der Anziehungskraft der Erde auf einen gleichen Körper in dieſer Entfernung entgegen zu wirken, und zwar größer in dem enormen Verhältniſſe von 354936 zu 1. Hieraus folgt, daß, wenn die Erde in ihrer Bahn um die Sonne durch die Anziehung des Sonnenkörpers, dem allgemeinen Geſetze über die Abnahme der Anziehung mit der Entfernung gemäß, erhalten wird, dieſe Kraft wenigſtens 354936 mal intenſiver ſeyn muß, als diejenige, welche die Erde, *caeteris paribus*, in einer gleichen Entfernung auszuüben im Stande ſeyn würde.

380) Was ergiebt ſich nun für uns aus dieſem Reſultate? Ganz einfach nichts anderes, als daß die Sonne gleich einer Menge von 354936 Erden, die ihren Platz einnehmen, anzieht, oder mit andern Worten, daß die Sonne 354936 mal ſo viel Maſſe oder ponderabeln Stoff, als die Erde, enthält. Man laſſe ſich

durch dieſe Folgerung nicht abſchrecken. Wir brauchen uns blos ins Gedächtniß zurückzurufen, was bereits im Art. 305. über die gigantiſchen Dimenſionen dieſes prachtvollen Körpers auseinandergeſetzt worden iſt, um einzuſehen, daß wir ein vernünftiges Verhältniß noch nicht überſchreiten, wenn wir ihm eine ſo ungeheuere Maſſe zuſchreiben. Vergleichen wir die Maſſe der Sonne mit ihrem Volumen, ſo finden wir in der That ihre Dichtigkeit*) geringer als diejenige der Erde, indem ſie nicht mehr als 0,2543 beträgt; ſo daß ſie alſo in der Wirklichkeit aus weit leichteren Stoffen beſtehen muß, beſonders wenn wir die Kraft berückſichtigen, unter welcher ihre centralen Theile verdichtet werden müſſen. Dieſe Betrachtung macht es ſehr wahrſcheinlich, daß eine außerordentliche Hitze in ihrem Innern herrſcht, welche die Elaſticität ihrer Stoffe verſtärkt, und wodurch dieſelben in den Stand geſetzt werden, dieſen faſt unbegreiflichen Druck zu ertragen, ohne zu kleineren Dimenſionen zuſammenzuſinken.

381) Dieſes wird noch mehr gewürdigt werden, wenn wir, was wir jetzt zu thun im Begriff ſind, die Intenſität der Schwere an der Oberfläche der Sonne ausmitteln.

Da die Anziehung einer Kugel dieſelbe iſt, als wenn ihre ganze Maſſe in ihrem Mittelpunkte vereinigt wäre (Art. 376.), ſo ſteht ſie hiernach im directen Verhältniſſe zur Maſſe und im umgekehrten zum Quadrate der Entfernung; und in dem hier betrachteten Falle iſt dieſe Entfernung der Radius der Kugel. Wir folgern deshalb**), daß die Intenſitäten der Schwerkraft der

*) Die Dichtigkeit eines materiellen Körpers ſteht im geraden Verhältniſſe zur Maſſe und im umgekehrten zum Volumen deſſelben; folglich verhält ſich die Dichtigkeit der Sonne zur Dichtigkeit der Erde, wie ſich verhält $\frac{354936}{1384472}$ zu 1 = 0,2543 zu 1.

**) Die Schwerkraft der Sonne verhält ſich zur Schwerkraft der Erde, wie ſich verhält $\frac{354936}{(440000)^2}$ zu $\frac{1}{(4000)^2}$ = 27,9

Sonne und der Erde an den Oberflächen beider Kugeln ſich wie 27,9 zu 1 verhalten. Ein Pfund terreſtriſchen Stoffes würde demnach an der Oberfläche der Sonne einen Druck ausüben, wie 27,9 ſolcher Pfunde an der Oberfläche der Erde. Ein gewöhnlicher Mann z. B. würde nicht allein unfähig ſeyn, ſein eigenes Gewicht auf der Oberfläche der Sonne zu tragen, ſondern ſogar unter der Laſt buchſtäblich in Atome zerdrückt werden.*)

382) Von nun an müſſen wir alſo jeden Gedanken von Unbeweglichkeit der Erde aufgeben, und dieſe Eigenſchaft vielmehr auf die Sonne übertragen, deren gewichtige Maſſe ſo ſehr im Stande iſt, die ſchwachen Anziehungen ſolcher Atome, wie die Erde und der Mond im Vergleich mit ihr ſind, zu erſchöpfen, ohne dadurch merklich aus ihrer Stelle gerückt zu werden. Der gemeinſchaftliche Schwerpunkt von Sonne und Erde liegt, wie wir bereits weiter oben bemerkt haben, faſt dicht am Mittelpunkte des Sonnenkörpers, in einem Abſtande von demſelben, der in unſerer Entfernung von ihm gar nicht bemerkbar iſt; und ob wir annehmen, die Erde beſchreibe ihre Bahn um den Mittelpunkt der Sonne, oder um jenen gemeinſchaftlichen Schwerpunkt, ſo entſteht daraus keine merkbare Differenz bei irgend einer aſtronomiſchen Erſcheinung.

383) In Folge der gegenſeitigen Gravitation aller einzelnen Theile des Stoffes, wie Newton's Geſetz annimmt, müſſen die Erde und der Mond, während ſie monatlich in ihren gegenſeitigen Bahnen ihren gemeinſchaftlichen Schwerpunkt umkreiſen, zugleich auch mit einander vereint in einer größern jährlichen Bahn um die Sonne laufen. Man kann ſich von dieſer Bewegung eine Vorſtellung machen, wenn man zwei ungleiche Kugeln durch einen Stock mit einander verbindet, welcher

---

zu 1. Die reſpectiven Radien der Sonne und der Erde betragen nämlich 440000 und 4000 engliſche Meilen.

*) Eine Maſſe, welche auf der Erde 170 Pfund wiegt, würde auf der Sonne einen Druck von 4600 Pfunden hervorbringen.

an der Stelle ihres gemeinſchaftlichen Schwerpunktes an eine lange Schnur befeſtiget und ſodann in Umſchwung verſetzt wird. Das verbundene Syſtem beider Kugeln wird, wie ein einziger Körper, den gemeinſchaftlichen Mittelpunkt, an welchem die Schnur befeſtigt iſt, umlaufen, während die Kugeln auch in untergeordneten Kreiſen ſich um einander drehen werden, als ob der Stock von allen Banden frei wäre und blos durch die Luft geſchleudert würde. Gravitirte die Erde allein und nicht auch der Mond, gegen die Sonne, ſo würde ſie fortgezogen werden und den Mond zurücklaſſen; und ſo auch umgekehrt. Da aber die Sonne auf beide wirkt, ſo bleiben ſie unter ihrer Anziehung bei einander, gerade ſo, wie die lockern Theile der Erdoberfläche beſtändig auf der Erde bleiben. Streng genommen beſchreibt alſo weder die Erde, noch der Mond, eine Ellipſe um die Sonne, ſondern ihr gemeinſchaftlicher Schwerpunkt, und daraus entſteht denn in der ſcheinbaren Bewegung der Sonne, wie ſie von der Erde aus geſehen wird, eine kleine, aber ſehr merkliche monatliche Gleichung, welche man bei der Berechnung des Ortes der Sonne jederzeit berückſichtigt.

384) Und hierin, d. h. in der Anziehung der Sonne, haben wir den Schlüſſel zu allen jenen Abweichungen von einer genauen elliptiſchen Bewegung des Mondes bei ſeinem monatlichen Umlaufe, deren wir bereits Erwähnung gethan haben (Art. 344 und 360.), nämlich zu dem retrograden Umlaufe ſeiner Knoten, zu dem directen Fortſchreiten der Axe ſeiner Ellipſe, und zu allen andern Abweichungen von den Geſetzen einer rein elliptiſchen Bewegung, auf welche wir ebenfalls hingedeutet haben. Wenn der Mond blos unter dem Einfluſſe der Schwerkraft der Erde um dieſelbe liefe, ſo würde keine dieſer Erſcheinungen ſtatt finden. Seine Bahn würde eine vollkommene Ellipſe ſeyn, die in ſich ſelbſt zurückliefe und immer in einer und derſelben Ebene läge. Daß dieſes ſich nicht ſo verhält, iſt ein Beweis, daß eine ſtörende Urſache zugleich mit der Anziehung der Erde einwirkt; und dieſe Urſache iſt keine andere, als die Anziehung der Sonne, oder vielmehr derjenige Theil derſelben, der

nicht in gleichem Maaße auch auf die Erde ausgeübt wird.

385) Läßt man zwei Steine neben einander, oder in irgend einer andern gegenſeitigen Lage, zugleich fallen, ſo werden ſie, wenn die Schwerkraft beide gleichmäßig beſchleunigt, ihre relativen Lagen behalten und zuſammen niederfallen, als ob ſie nur eine Maſſe bildeten. Sobald aber die Schwerkraft auf den einen ſtärker wirkt, als auf den andern, ſo wird der eine in ſeinem Falle mehr beſchleunigt werden, und er muß den andern allmählig verlaſſen; es entſteht folglich aus dieſer Differenz der Wirkung, wie gering dieſelbe auch ſeyn möge, eine relative Bewegung zwiſchen den beiden Steinen.

386) Die Sonne iſt etwa 400mal weiter von uns entfernt, als der Mond; folglich iſt, während der Mond ſeine monatliche Bahn um die Erde beſchreibt, ſeine Entfernung von der Sonne abwechſelnd um $1/_{400}$ größer und um eben ſo viel kleiner, als diejenige der Erde. So klein dieſe Veränderung auch iſt, ſo genügt ſie doch, um bei dem Monde eine merklich größere Attractivtendenz gegen die Sonne, als bei der Erde, zu erzeugen, wenn ſich derſelbe zunächſt bei der Sonne in M (Fig 50.) befindet, und eine entſprechend kleinere, wenn er in dem entgegengeſetzten Punkte N ſteht; und in den zwiſchenliegenden Stellungen wird nicht allein eine Differenz der Kräfte ſelbſt, ſondern auch eine Differenz ihrer Richtungen ſtatt finden, weil die Mondsbahn MN, wie klein ſie auch iſt, doch keinen Punkt ausmacht, und alſo auch die Linien, welche von der Sonne S an ihre verſchiedenen Theile gezogen werden, ſtreng genommen, nicht als Parallellinien betrachtet werden können. Wenn die Kraft der Sonne gleichmäßig und in parallelen Richtungen auf Erde und Mond ausgeübt würde, ſo könnte, wie wir bereits geſehen haben, keine Störung ihrer relativen Stellungen ſtatt finden; da aber dieſe Bedingungen nicht erfüllt werden, ſo entſteht daraus eine ſtörende Kraft ſchräg gegen die Linie, die den Mond und die Erde verbindet, welche bewirkt, daß, bei einigen Stellungen des Mondes, die Bewegung deſſelben

in ſeiner elliptiſchen Bahn beſchleunigt, bei andern verzögert, und, bei einigen Stellungen, der Mond von der Erde, bei andern die Erde vom Monde entfernt wird. Sodann fällt die Mondsbahn, wenn auch beinahe, doch nicht ganz mit der Ebene der Ekliptik zuſammen; und deshalb ſtrebt die Wirkung der Sonne auf den Mond, welche eine mit der letztgedachten Ebene nahezu parallele Richtung hat, denſelben etwas aus der Ebene ſeiner Bahn zu ziehen; und ſie thut dieſes auch wirklich, wovon der Umlauf ſeiner Knoten und andere weniger auffallende Erſcheinungen ſich herſchreiben. Wir ſind noch nicht vorbereitet, dieſe Störungen, wie ſie genannt werden, näher zu unterſuchen, aber wir werden den Leſer, ſo bald wie möglich damit bekannt machen, um ihn zu beruhigen, wenn etwa Zweifel über die logiſche Richtigkeit unſerer Schlußfolge bei ihm entſtanden ſeyn ſollten, während wir, mit einſtweiliger Vernachläſſigung dieſer Störungen, uns aus einer allgemeinen Betrachtung der Mondsbahn einen directen Weg zum Geſetze der allgemeinen Schwere bahnten.

Achtes Kapitel.

Von dem Sonnenſyſteme.

Scheinbare Bewegungen der Planeten. — Ihr Stillſtehen und Rückwärtsgehen. — Die Sonne iſt der natürliche Mittelpunkt der Bewegung der Planeten. — Untere Planeten. — Ihre Phaſen, Umläufe u. ſ. w. — Dimenſionen und Geſtalt ihrer Bahnen. Vorübergänge derſelben vor der Sonne. — Obere Planeten. — Ihre Entfernungen, Umläufe u. ſ. w. — Kepler's Geſetze und ihre Erläuterung. — Elliptiſche Elemente einer Planetenbahn. — Heliocentriſcher und geocentriſcher Ort der Planeten. — Bode's Geſetz der Entfernungen der Planeten von der Sonne. — Die vier neuen Planeten. — Phyſiſche Eigenthümlichkeiten, die an jedem Planeten wahrgenommen werden.

387) Die Sonne und der Mond ſind nicht die einzigen Himmelskörper, an denen wir eine Bewegung wahrnehmen, unabhängig von derjenigen, in deren Folge das Firmament täglich um die Erde herumgeführt wird. Unter den Sternen, namentlich unter den glänzendſten und erkennbarſten, giebt es mehrere, die, wenn man ſie von Nacht zu Nacht aufmerkſam beobachtet, ihre relative Lage unter den übrigen verändern, und zwar manche raſch, andere weit langſamer. Dieſe heißen Planeten. Vier derſelben, Venus, Mars, Jupiter und Saturn, ſind ausgezeichnet groß und glänzend; ein anderer, Merkur, erſcheint dem unbewaffneten Auge gleichfalls als ein ziemlich großer Stern, iſt aber aus einem Grunde, der ſogleich näher einleuchten wird, ſelten ſichtbar; ein ſechster, Uranus, iſt kaum ohne ein Fernrohr zu erkennen; und vier andere, Ceres, Pallas, Veſta und Juno, ſind mit dem unbewaffneten Auge niemals zu ſehen. Außer dieſen zehn Planeten kann es noch an=

dere bis jetzt unentdeckte geben, und es iſt äußerſt wahrſcheinlich, daß dieſes der Fall iſt, indem die Menge der nur mit Fernröhren ſichtbaren oder ſogenannten teleſkopiſchen Sterne ſo groß iſt, daß man nur erſt einen kleinen Theil derſelben hinlänglich beobachtet hat, um zu erfahren, ob ſie dieſelben Orte behalten, oder nicht; auch ſind die fünf zuletzt genannten Planeten ſämmtlich erſt innerhalb der letzten ſechzig Jahre entdeckt worden.

388) Die ſcheinbaren Bewegungen der Planeten ſind weit unregelmäßiger, als diejenigen der Sonne oder des Mondes. Im Allgemeinen, und wenn man ihre Orte zu entfernten Zeiten vergleicht, rücken ſie alle, wiewohl mit ſehr verſchiedenen Durchſchnitts- oder mittleren Geſchwindigkeiten, in derſelben Richtung fort, wie die beiden letzteren Weltkörper, d. h. der ſcheinbaren täglichen Bewegung entgegen, oder von Weſten nach Oſten. Alle laufen rings um den ganzen Himmel, obſchon unter ſehr verſchiedenen Umſtänden; und alle, mit Ausnahme der vier teleſkopiſchen Planeten Ceres, Pallas, Juno und Veſta (die man deshalb auch die den Thierkreis überſchreitenden oder Ultrazodiakal-Planeten nennen kann), ſind hinſichtlich ihrer ſcheinbaren Bahn in ſehr enge Grenzen auf jeder Seite der Ekliptik eingeſchloſſen, und vollbringen ihren Lauf innerhalb derjenigen Zone des Himmels, welche wir oben den Thierkreis genannt haben (Art. 254.).

389) Die einleuchtende Folgerung daraus iſt, daß, welches auch ſonſt das Geſetz und die Natur ihrer Bewegungen ſeyn möge, ſie doch alle beinahe in der Ebene der Ekliptik vollendet werden, nämlich in derjenigen Ebene, in welcher unſere eigene Bewegung um die Sonne ſtatt findet. Hieraus folgt, daß wir ihre Bewegungen nicht im Grundriſſe, ſondern im Durchſchnitte ſehen; ihre wirklichen Winkelbewegungen und Linearabſtände ſind alle verkürzt und unter einander gemengt, während nur ihre Abweichungen von der Ekliptik in ihrer natürlichen Größe und nicht in Folge der Perſpective verkleinert erſcheinen.

390) Die ſcheinbaren Bewegungen der Sonne und des Mondes, obſchon ſie nicht gleichförmig ſind, weichen doch nicht ſehr beträchtlich von der Gleichförmigkeit ab; eine mäßige Beſchleunigung und Verzögerung, welche ſich aus der Ellipticität ihrer Bahnen erklären läßt, iſt alles, was man bemerkt. Ganz anders aber verhält es ſich mit den Planeten. Manchmal rücken ſie raſch vorwärts, laſſen dann in ihrer ſcheinbaren Geſchwindigkeit nach und gelangen zu einem momentanen Stillſtand; hierauf wird ihre Bewegung wirklich umgekehrt, und ſie laufen auf ihrem frühern Pfade zurück, mit einer Geſchwindigkeit, die anfangs immer wächſt und alsdann wieder abnimmt, bis die umgekehrte oder rückläufige Bewegung gänzlich aufhört. Ein anderes Stillſtehen, oder ein Augenblick ſcheinbarer Ruhe oder Unbeſtimmtheit findet jetzt ſtatt, worauf die Bewegung abermals entgegengeſetzt wird und ihren urſprünglichen rechtläufigen Character wieder annimmt. Im Ganzen iſt indeſſen der Betrag der directen oder rechtläufigen Bewegung weit beträchtlicher, als daß er denjenigen der rückläufigen blos erſetzen ſollte; und durch den Ueberſchuß der erſtern Bewegung über die letztere wird das allmählige Fortrücken des Planeten von Weſten nach Oſten unterhalten. Breitet man z. B. den Thierkreis in eine ebene Fläche aus (oder ſtellt man ihn nach Mercator's Projection, Art. 234., dar, ſo daß man die Ekliptik EC (Fig. 51.) zur Grundlinie derſelben annimmt), ſo wird der Lauf eines Planeten, wenn er durch Beobachtung von einem Tage zum andern auf die Charte getragen wird, das Ausſehen von PQRS u. ſ. w. haben, wobei die Bewegung von P nach Q rechtläufig, bei Q ſtationär, von Q bis R rückläufig, bei R wiederum ſtationär, von R nach S rechtläufig u. ſ. f. ſeyn wird.

391) Bei der Unregelmäßigkeit und Schwankung dieſer Bewegung läßt ſich gleichwohl eine gewiſſe merkwürdige Gleichförmigkeit bemerken. Wenn der Planet die Ekliptik durchſchneidet, wie bei N in Fig. 51., ſo ſagt man von ihm, wie beim Monde, daß er ſich in ſeinem Knoten befinde; und da die Erde nothwendig in

der Ebene der Ekliptik liegt, ſo kann der Planet nicht ſcheinbar oder uranographiſch in dem, den nämlichen Namen führenden Himmelskreiſe geſehen werden, ohne ſich zugleich wirklich in jener Ebene zu befinden. Der beobachtete Durchgang eines Planeten durch ſeinen Knoten iſt demnach eine Erſcheinung, welche einen, von dem Standpunkte, von welchem aus wir ihn ſehen, ganz unabhängigen Umſtand in ſeiner wahren Bewegung anzeigt. Nun läßt ſich durch Beobachtung leicht ausmitteln, wann ein Planet von der nördlichen Seite der Ekliptik in die ſüdliche übergeht: wir brauchen nur ſeine geraden Aufſteigungen und Abweichungen in Längen und Breiten zu verwandeln, und der Uebergang von nördlicher zu ſüdlicher Breite an zwei auf einander folgenden Tagen wird uns erkennen laſſen, an welchem Tage dieſer Wechſel ſtattfand, während eine einfache Proportion, die ſich auf die beobachtete Veränderung der Breite in der Zwiſchenzeit gründet, ausreichen wird, um genau die Stunde und Minute ſeines Eintrittes in die Ekliptik zu beſtimmen. Iſt dieſes nun für mehrere Uebergänge von einer Seite der Ekliptik zur andern geſchehen, und ſind ſolchergeſtalt ihre Zeiten beſtimmt, ſo finden wir durchgehends, daß der Zeitraum, welcher zwiſchen den ſucceſſiven Durchgängen eines jeden Planeten durch denſelben Knoten (ſey es der aufſteigende, oder der niederſteigende) verfließt, ſich immer gleich bleibt, mag nun der Planet zur Zeit eines ſolchen Durchganges rechtläufig oder rückläufig, ſchnell oder langſam in ſeiner ſcheinbaren Bewegung ſeyn.

392) Hier haben wir alſo einen Umſtand, welcher uns zeigt, daß die Bewegungen der Planeten in der That gewiſſen Geſetzen und beſtimmten Perioden unterliegen, und der uns mithin ſehr natürlich auf die Vermuthung bringen kann, daß die ſcheinbaren Unregelmäßigkeiten und Complicationen ihrer Bewegungen daher rühren mögen, daß wir ſie nicht von ihrem natürlichen Mittelpunkte aus (Art. 316.) ſehen, und daß ſich mit den eigenthümlichen Bewegungen derſelben auch noch Bewegungen parallactiſcher Art vermiſchen, welche in

unſerer eigenen Ortsveränderung, in Folge der Bewegung der Erde um die Sonne, ihren Grund haben.

393) Wenn wir die Erde nicht als den Mittelpunkt der Bewegung der Planeten betrachten, ſo können wir nicht einen Augenblick darüber im Zweifel ſeyn, wohin dieſer Mittelpunkt mit der größten Wahrſcheinlichkeit, die Wahrheit getroffen zu haben, zu ſetzen ſey. Zuerſt müſſen wir ihn ſicher in die Sonne verſetzen, und alle Bewegungen der Planeten auf dieſen Standpunkt beziehen. Steht ſie mit ihnen nicht durch irgend ein phyſiſches Verhältniß in Verbindung, ſo beſitzt ſie wenigſtens, was bei der Erde nicht der Fall iſt, den Vortheil verhältnißmäßiger Unbeweglichkeit. Aber nach dem, was im Art. 380. über die unermeßliche Maſſe dieſes leuchtenden Weltkörpers und über die Function geſagt worden iſt, welche er als ein ruhender Mittelpunkt für die Umlaufsbewegung unſerer Erde ausübt, kann nichts natürlicher ſeyn, als die Annahme, daß er denſelben Dienſt auch andern Weltkugeln leiſte, welche, wie die Erde, um ihn ihre Bahnen beſchreiben; und dieſe Weltkugeln können uns durch das von ihnen reflectirte Sonnenlicht ſichtbar ſeyn, gerade ſo, wie es bei dem Monde der Fall iſt. Nun giebt es eine Menge Thatſachen, welche die Idee gar mächtig unterſtützen, daß die Planeten ſich wirklich in dieſer Kategorie befinden.

394) Zuerſt ſind die Planeten in der That große Weltkugeln von einer zur Erde verhältnißmäßigen Größe, und mehrere derſelben ſind ſogar weit größer. Durch gute Fernröhre betrachtet, erſcheinen ſie als runde Körper von merklichem, ja ſelbſt von beträchtlichem ſcheinbaren Durchmeſſer, welche beſtimmte und characteriſtiſche Eigenthümlichkeiten darbieten, aus denen hervorgeht, daß ſie feſte Maſſen ſind, und daß jeder derſelben ſeinen individuellen Bau und Mechanismus beſitzt, und zwar, wenigſtens einer von ihnen, einen außerordentlich künſtlichen und complicirten (ſiehe die Abbildungen des Jupiter, Saturn und Mars auf Taf. I.). Daß ihre Entfernungen von uns groß, ja weit größer ſind, als diejenige des Mondes, und daß einige derſelben ſogar weiter als die Sonne von uns entfernt ſind,

folgern wir aus der Kleinheit ihrer täglichen Parallaxe, welche ſelbſt bei den nächſten von ihnen, wenn ſie ſich in der günſtigſten Stellung gegen die Erde befinden, nicht über einige Sekunden beträgt und bei den entfernteren faſt unmerklich iſt. Aus der Vergleichung der täglichen Parallaxe eines Himmelskörpers mit ſeinem ſcheinbaren Halbmeſſer läßt ſich ſogleich die wahre Größe deſſelben herleiten. Denn die Parallaxe iſt in der That nichts anderes, als der ſcheinbare Halbmeſſer der Erde, von dem fraglichen Himmelskörper aus geſehen (Art. 298. u. ffg.); und da die zwiſchenliegende Entfernung dieſelbe iſt, ſo müßen ſich die wahren Durchmeſſer zu einander verhalten, wie die ſcheinbaren. Ohne weiter in Einzelnheiten einzugehen, mag, als ein allgemeines Reſultat dieſer Vergleichung, hier die Bemerkung genügen, daß die Planeten ſämmtlich ungleich kleiner als die Sonne, aber manche derſelben ſo groß, wie die Erde, und andere weit größer ſind.

395) Die nächſte ſie betreffende Thatſache iſt die, daß ihre Entfernungen von uns, wie wir aus der Meſſung ihrer Winkeldurchmeſſer ſehen, ſich beſtändig verändern, nämlich innerhalb gewiſſer Grenzen periodiſch zu- und abnehmen, aber keineswegs der Annahme entſprechen, daß die Planeten regelmäßige Kreiſe oder elliptiſche Bahnen um die Erde, als einen Mittelpunkt, oder als einen Brennpunkt, beſchreiben. Dagegen behaupten die Winkeldurchmeſſer derſelben, und alſo auch ihre Entfernungen von uns, eine beſtändige und in die Augen fallende Beziehung zu ihren ſcheinbaren Winkelabſtänden oder Elongationen von der Sonne. Der ſcheinbare Durchmeſſer des Mars z. B. iſt größer, wenn ſich dieſer Planet mit der Sonne, wie man es zu nennen pflegt, in Oppoſition befindet, d. h. wenn er in dem entgegengeſetzten Theile der Ekliptik ſteht, oder wenn er um Mitternacht culminirt, indem derſelbe um dieſe Zeit ungefähr 18 Sekunden beträgt, aber alsdann nimmt er raſch wieder bis auf 4 Sekunden ab, was ſein ſcheinbarer Durchmeſſer iſt, wenn er ſich in Conjunc-

tion befindet, oder wenn er nahe in der Richtung der Sonne ſteht. Dieſe und ähnliche Thatſachen, welche in Bezug auf die ſcheinbaren Durchmeſſer der andern Planeten beobachtet werden, beweiſen es deutlich, daß die Sonne in mehr als blos zufälliger Beziehung zu ihren Bewegungen ſtehe.

396) Endlich bieten einige Planeten, durch Fernröhre betrachtet, die Erſcheinung von Phaſen, gleich denen des Mondes, dar. Dieſes beweißt, daß ſie dunkle Körper ſind, die nur durch reflectirtes Licht leuchten, welches kein anderes, als das Licht der Sonne ſeyn kann; nicht allein, weil es keine andere äußere Quelle des Lichtes für ſie giebt, die ſie ſo ſtark zu beleuchten vermöchte, ſondern auch, weil die Erſcheinung und die Aufeinanderfolge der Lichtgeſtalten ſelbſt (gleich den ſcheinbaren Durchmeſſern derſelben) in genauer Verbindung mit ihren Elongationen von der Sonne ſtehen, wie ſogleich näher gezeigt werden ſoll.

397) Dem gemäß hat man gefunden, daß, wenn die planetariſchen Bewegungen auf die Sonne, als einen Mittelpunkt, bezogen werden, alle jene ſcheinbaren Unregelmäßigkeiten, die ſie, von der Erde aus betrachtet, darbieten, mit einemmale verſchwinden, und daß ſie einem einfachen und allgemeinen Geſetze folgen, von welchem die Bewegung der Erde, wie ſie in einem frühern Kapitel erklärt worden iſt, nur einen beſondern Fall ausmacht. Um zu zeigen, wie dieſes zuſammenhängt, wollen wir einen einzelnen Planeten annehmen, der um die Sonne in einer Ebene laufen möge, die beinahe, aber nicht gänzlich, mit der Ekliptik zuſammenfällt, dabei jedoch durch den Mittelpunkt der Sonne geht und deshalb die Ekliptik in einer beſtimmten Linie, der ſogenannten Knotenlinie des Planeten, ſchneidet. Dieſe Linie muß folglich die Planetenbahn in zwei Segmente theilen, und es leuchtet ein, daß ſo lange die Umſtände der Bewegung des Planeten ſonſt unverändert bleiben, auch die Zeiten, in welchen jedesmal dieſe Segmente beſchrieben werden, dieſelben bleiben müſſen. Der Zeitraum zwiſchen

den beiden Momenten, in welchen der Planet einen Knoten verläßt und wieder bis zu dem nämlichen Knoten zurückkehrt, muß alſo derjenige ſeyn, in welchem er einen ganzen Umlauf um die Sonne vollendet, oder die Umlaufszeit deſſelben; und ſo iſt uns ein directes Mittel gegeben, die Umlaufszeit eines jeden Planeten zu beſtimmen.

398) Wir haben (Art. 388) geſagt, daß die Planeten den ganzen Himmel unter ſehr verſchiedenen Umſtänden umkreiſen. Dieſes bedarf näherer Erklärung. Zwei derſelben, Merkur und Venus, vollenden dieſen Umlauf augenſcheinlich als Begleiter der Sonne, aus deren Nachbarſchaft ſie ſich nie über eine gewiße Grenze hinaus entfernen. Man ſieht ſie manchmal öſtlich, manchmal weſtlich von der Sonne. In dem erſtern Falle ſind ſie über dem weſtlichen Horizonte kurz nach Sonnenuntergang ſichtbar und heißen Abendſterne. Die Venus beſonders erſcheint in dieſer Stellung zuweilen mit einem blendenden Glanze, und man kann bei günſtigen Umſtänden wahrnehmen, daß ſie einen ganz deutlichen Schatten wirft.*) Stehen ſie weſtlich von der Sonne, ſo gehen ſie des Morgens früher, als dieſe auf und erſcheinen über dem öſtlichen Horizonte als Morgenſterne. Beide erreichen indeſſen nicht die nämliche Elongation von der Sonne. Merkur erlangt nie einen größeren Winkelabſtand von ihr, als etwa 29°, während Venus ſich auf jeder Seite bis auf 47° von derſelben entfernt. Wenn ſie öſtlich von der Sonne ihre reſpectiven größten Abſtände von ihr erlangt haben, ſo bleiben ſie eine Zeitlang in Bezug auf die Sonne gleichſam unbeweglich, und werden von ihr in der Ekliptik mit einer, der

*) Man muß dieſen Schatten auf einen weißen Grund werfen laſſen. Am beſten eignet ſich dazu ein offenes Fenſter in einer weißgetünchten Stube. In dieſem Falle habe ich nicht allein den Schatten, ſondern auch die matter erſcheinenden Franſen, von denen der Rand des Fenſters umgeben war, an der Wand deutlich bemerkt.

Der Verfaſſer.

ihrigen gleichkommenden Bewegung mit fortgeführt; aber alsdann fangen ſie an, ſich derſelben zu nähern, oder, was auf eins hinaus kommt, ihre Bewegung in der Länge nimmt ab, und die Sonne gewinnt den Vorſprung. Sobald dieſe Annäherung beginnt, wird ihre Anweſenheit über dem Horizonte nach Sonnenuntergang täglich kürzer, bis ſie endlich untergehen, ehe noch die Dunkelheit ſo weit gediehen iſt, um ſie erkennen zu können. Eine Zeitlang ſind ſie nun gar nicht ſichtbar, außer in ſehr ſeltenen Fällen, wo ſie vor der Sonnenſcheibe als kleine, runde, ſcharf begrenzte, ſchwarze Flecke vorübergehen, welche in ihrem Ausſehen von dem der Sonnenflecke ganz verſchieden ſind (Art. 330). Dieſe Erſcheinungen nennt man auf eine bezeichnende Weiſe Durchgänge der betreffenden Planeten durch die Sonne, und ſie finden Statt, wenn die Erde gerade durch die Knotenlinie derſelben geht, während ſie ſelbſt ſich an dieſen Stellen ihrer Bahnen befinden, gerade ſo, wie in der Erklärung, welche wir (Art. 355) von einer Sonnenfinſterniß gegeben haben. Nachdem ſie auf dieſe Weiſe eine Zeitlang unſichtbar geblieben ſind, kommen ſie an der andern Seite der Sonne wieder zum Vorſchein, zeigen ſich anfangs nur einige Minuten lang vor Sonnenaufgang, allmählig aber immer länger und länger, je mehr ſie ſich von der Sonne entfernen. Um dieſe Zeit haben ſie eine raſche rückläufige Bewegung in der Länge. Bevor ſie indeſſen ihre größte Elongation oder Ausweichung erreichen, werden ſie am Himmel ſtationär; aber ihr Zurückweichen von der Sonne dauert durch das Fortrücken der letztern in der Ekliptik noch fort, wobei die Sonne ſie fortwährend hinter ſich zurückläßt, bis ſie ihre Bewegung umkehren, und wieder rechtläufig werden, wo ſie dann bald hinlängliche Geſchwindigkeit erlangen, um die Sonne wieder zu überholen, in welchem Augenblicke ſie ihre größte weſtliche Ausweichung erreicht haben; und auf dieſe Weiſe wird eine Art oscillirender Bewegung unterhalten, während das allgemeine Fortſchreiten in der Ekliptik fortbeſteht.

399) Wir wollen annehmen, P Q (Fig 52) ſey die Ekliptik, und A B D die Bahn eines dieſer Planeten (z. B. des Merkurs), welche von einem Auge, das ſich ziemlich nahe in ihrer Ebene befindet, faſt nur längs ihrer Kante erblickt wird; S ſey der Mittelpunkt dieſer Bahn, nämlich die Sonne, und A, B, D, S ſucceſſive Orte des Planeten, von denen B und S in den Knoten liegen. Wenn alsdann die Sonne S in der Ekliptik ſcheinbar ſtillſtände, ſo würden die Planeten blos rückwärts und vorwärts von A bis D oscilliren, und ſich abwechſelnd vor und hinter die Sonne begeben; und wenn ein Beobachter ſich genau in der Ebene der Bahn befände, ſo würden ſie in dem erſtern Falle vor der Sonnenſcheibe vorübergehen und in dem letztern von ihr bedeckt werden. Da aber die Sonne nicht ſtillſteht, ſondern ſcheinbar die Ekliptik P Q durchläuft, ſo wollen wir annehmen, ſie bewege ſich durch die Räume S T, T U, U V, indeß der Planet während eines jeden dieſer Fortſchritte den vierten Theil ſeines Umlaufes vollendet. Alsdann bewegt ſich ſeine Bahn ſcheinbar mit der Sonne vorwärts in die ſucceſſiven Lagen, welche in der Figur angegeben ſind; und während ſeine wahre Bewegung um die Sonne ihn in die reſpectiven Punkte B, D, S, A bringt, wird er ſcheinbar am Himmel die Wellen- oder Zikzaklinie A N H K beſchrieben haben. Hierbei wird die Bewegung des Planeten in der Länge in den Theilen A N, N H rechtläufig und in dem Theile H n K rückläufig geweſen ſeyn, während er in den Wendungen des Zikzaks bei H, K ſtationär war.

400) Die beiden einzigen Planeten, Merkur und Venus, deren Bewegungen von der Art ſind, wie ſie vorhin beſchrieben wurden, heißen die **unteren Planeten**; ihre weiteſte Winkelentfernung von der Sonne nennt man ihre **größte** öſtliche und weſtliche **Ausweichung** oder **Elongation**, und ihre ſcheinbare naheſte Zuſammenkunft mit der Sonne die **untere** und **obere** Conjunction derſelben, von denen die erſtere ſtatt findet, wenn der Planet zwiſchen die

Erde und die Sonne kommt, die letztere, wenn er hinter der Sonne ſteht.

401) Im Art. 398 haben wir die ſcheinbare Bahn eines unteren Planeten verfolgt, indem wir ſie im Durchſchnitte betrachteten, d. h. ſo, wie ſie ſich, von einem Punkte in der Ebene der Ekliptik aus geſehen, darſtellt. Wir wollen ſie jetzt im Grundriſſe betrachten, oder ſo, wie ſie ſich von einem Standpunkte aus darſtellt, der über dieſer Ebene liegt, und auf dieſelbe projicirt iſt. S (Fig. 53) bezeichne alſo die Sonne, a b c d die Bahn des Merkurs, oder der Venus, und A B C D einen Theil der Erdbahn, wobei die Richtung der Bewegung bei beiden dieſelbe, nämlich diejenige ſey, die durch den Pfeil angegeben iſt. Wenn der Planet bei a ſteht, ſo möge ſich die Erde bei A in der Richtung einer Tangente a A ſeiner Bahn befinden. Bei dieſer Lage muß der Planet offenbar in ſeiner größten Elongation von der Sonne erſcheinen, indem der Winkel a A S, welcher den ſcheinbaren Winkelabſtand derſelben, von A aus geſehen, mißt, dann größer iſt, als bei irgend einer anderen Lage von a in dem ihm zugehörigen Kreiſe.

402) Iſt nun dieſer Winkel durch Beobachtung bekannt, ſo beſitzen wir dadurch ein bequemes Mittel, die Entfernung des Planeten von der Sonne, oder den Halbmeſſer ſeiner Bahn, die wir als einen Kreis annehmen wollen, wenigſtens approximativ zu beſtimmen. Denn das Dreieck S A a hat bei a einen rechten Winkel, und wir haben folglich die Proportion S a : S A = Sin. S A a : Radius, wodurch die Halbmeſſer S a, S A der beiden Bahnen direct mit einander verglichen werden. Wären beide Bahnen wirkliche Kreiſe, ſo würde dieſes Verfahren ein vollkommen genaues ſeyn; aber dieſes iſt nicht der Fall, (wie ſich aus der Ungleichheit der reſultirenden Werthe von S a ergiebt, die man zu verſchiedenen Zeiten erhält), und es wird deshalb nöthig, eine Excentricität und eine Abweichung von der richtigen Kreisgeſtalt bei beiden Bahnen anzunehmen, um dieſe Differenz zu erklären. Vernachläßigt man indeſſen für den Augenblick dieſe Ungleich-

heit, ſo kann man wenigſtens einen mittleren Werth für S a durch häufige Wiederholung dieſes Verfahrens bei allen Veränderungen der Lage der beiden Himmelskörper erlangen. Aus ſolchen Rechnungen hat man gefolgert, daß die mittlere Entfernung des Merkurs von der Sonne etwa 36 Millionen, und diejenige der Venus etwa 68 Millionen engliſche Meilen beträgt, wobei der Halbmeſſer der Erdbahn zu 95 Millionen ſolcher Meilen angenommen iſt.

403) Die ſideriſchen Umläufe der Planeten kann man (wie ſchon vorhin bemerkt worden iſt) mit einem ſehr beträchtlichen Grade von Genauigkeit ausmitteln, indem man die Durchgänge derſelben durch die Knoten ihrer Bahnen beobachtet; und wenn man eine gewiſſe, ſehr geringe Bewegung dieſer Knoten (ähnlich derjenigen der Mondsknoten, nur bei weitem langſamer) mit berückſichtigt, ſo kann dieſes mit einer Schärfe geſchehen, welche nur in der Unvollkommenheit der geeigneten Beobachtungen ihre Grenzen findet. Aus ſolchen auf dieſe Weiſe corrigirten Beobachtungen ergibt ſich, daß der ſideriſche Umlauf des Merkurs 87 Tage, 23 Stunden, 15 Minuten, 43,9 Sekunden, und derjenige der Venus 224 Tage, 16 Stunden, 49 Minuten 8,0 Sekunden beträgt. Dieſe Umlaufszeiten ſind indeſſen gar ſehr von den Zeiträumen verſchieden, in welchen die ſucceſſiven Erſcheinungen der beiden Planeten in ihrer öſtlichen und weſtlichen Elongation von der Sonne beobachtet werden. Den Merkur ſieht man in ſeinem größten Glanze als Abendſtern im Durchſchnitt nach Verlauf von etwa 116, und die Venus nach Verlauf von etwa 584 Tagen. Dieſes erklärt ſich aus der Differenz der ſideriſchen und ſynodiſchen Umläufe (Art. 353). Wenn die Erde, indem wir uns wieder auf Fig. 53 beziehen, bei A ſtill ſtände, während der Planet in ſeiner Bahn fortrückte, ſo würde nach Vollendung eines ſideriſchen Umlaufes, der ihn wieder nach a brächte, eine ähnliche Elongation von der Sonne erfolgen. Aber unterdeſſen iſt auch die Erde in ihrer Bahn in derſelben Richtung nach E vorgerückt, und deßhalb wird die nächſte größte Elongation auf der nämlichen Seite der Sonne nicht in der Lage a A der beiden Him=

melskörper, ſondern in einer mehr vorgeſchrittenen Lage c E ſtatt finden. Die Beſtimmung dieſer Lage hängt von einer ganz ähnlichen Rechnung ab, wie ſie in dem Art. 353 erklärt worden iſt; und wir brauchen deßhalb hier nur die reſultirenden ſynodiſchen Umläufe der beiden Planeten anzugeben, welche beziehungsweiſe 115,877 Tage, und 583,920 Tage betragen.

404) In dieſem Zeitraume wird der Planet einen ganzen Umlauf und noch den Bogen a c, die Erde hingegen nur den Bogen A C E ihrer Bahn beſchrieben haben. Während deſſelben wird die untere Conjunction eintreten, wenn die Erde an einen gewiſſen zwiſchenliegenden Ort B, und der Planet nach b, einem Punkte zwiſchen der Sonne und der Erde, gelangt iſt. Die größte Elongation auf der andern Seite der Sonne wird ſtatt finden, wenn die Erde nach C und der Planet nach c gekommen iſt, wo die Verbindungslinie C c eine Tangente des inneren Kreiſes auf der entgegengeſetzten Seite von S iſt. Die obere Conjunction endlich wird eintreten, wenn die Erde nach D und der Planet nach d in dieſelbe, auf der andern Seite der Sonne verlängerte Linie gelangt iſt. Die Zeiträume, nach welchen dieſe Erſcheinungen eintreten, laſſen ſich leicht aus den bekannten ſynodiſchen Umläufen der Planeten und den Halbmeſſern ihrer Bahnen berechnen.

405) Die Peripherieen der Kreiſe verhalten ſich wie ihre Halbmeſſer. Wenn wir alſo die Peripherieen der Bahnen des Merkurs, der Venus und der Erde berechnen und ſie mit den Zeiten vergleichen, in welchen ihre Umläufe vollendet werden, ſo werden wir finden, daß die wirklichen Geſchwindigkeiten, mit denen ſie ſich in ihren Bahnen bewegen, ſehr verſchieden ſind. Merkur legt ungefähr 109400 engliſche Meilen, Venus 80060 und die Erde 68080 engliſche Meilen in einer Stunde zurück. Daraus ergibt ſich, daß Merkur und Venus in der untern Conjunction, oder bei b, ſich in derſelben Richtung, wie die Erde, aber mit größerer Geſchwindigkeit bewegen; ſie laſſen deßhalb die Erde hinter ſich, und ihre ſcheinbare Bewegung, von der Erde aus betrachtet, iſt ſo, als ob ſie ruheten, und die Erde in einer, ihrer

wahren Bewegung entgegengeſetzten Richtung fortrückte. Bei dieſer Lage muß demnach die ſcheinbare Bewegung eines jeden dieſer Planeten der ſcheinbaren Bewegung der Sonne entgegengeſetzt, und folglich rückläufig ſeyn. In der obern Conjunction dagegen, wo die wahre Bewegung des Planeten in einer Richtung ſtatt findet, die der Bewegung der Erde entgegengeſetzt iſt, wird die relative Bewegung die nämliche ſeyn, als ob der Planet ſtill ſtände, und die Erde mit der vereinigten Geſchwindigkeit beider in ihrer eigenen Richtung fortrückte. In dieſem Falle wird alſo die ſcheinbare Bewegung rechtläufig ſeyn. Dieſe beiden Ergebniſſe ſtimmen mit der beobachteten Thatſache vollkommen überein.

406) Die ſtationären Punkte können durch die folgende Betrachtung beſtimmt werden. Bei a oder c, den Punkten der größten Elongation, bewegt ſich der Planet direct gegen die Erde oder von derſelben weg, nämlich längs ihrer Verbindungslinie, während die Bewegung der Erde faſt perpendiculär auf dieſer Linie iſt. Hier muß folglich die ſcheinbare Bewegung rechtläufig ſeyn. Bei b, der untern Conjunction, haben wir geſehen, daß ſie rückläufig ſeyn müſſe, weil die Bewegung des Planeten (welche daſelbſt, ſo wie auch diejenige der Erde, auf der Verbindungslinie ſenkrecht iſt) die Bewegung der Erde an Geſchwindigkeit übertrifft. Deßhalb müſſen die ſtationären Punkte, wie man auch durch Beobachtung wirklich findet, zwiſchen a und b, oder zwiſchen c und b, nämlich an einer ſolchen Stelle liegen, wo die ſchiefe Richtung der Bewegung des Planeten gegen die Verbindungslinie den Ueberſchuß ſeiner Geſchwindigkeit über diejenige der Erde gerade compenſirt, und ein gleiches Fortrücken eines jeden Endes dieſer Linie, durch die Bewegung des Planeten an dem einen, und durch diejenige der Erde an dem andern Ende, bewirkt, ſo daß ſich für einen Augenblick die ganze Linie mit ſich ſelbſt parallel fortbewegen muß. Die ſo vorgelegte Aufgabe iſt eine rein geometriſche, und ihre Auflößung unter Vorausſetzung kreisförmiger Bahnen ganz leicht; betrachten wir dieſelben aber nicht als kreisförmig (was ſie auch wirklich nicht ſind) ſo wird die Aufgabe etwas verwickelt, und zwar ſo, daß

wir hier nicht näher in dieſelbe eingehen können. Es mag deßhalb genügen, hier die Reſultate mitzutheilen, welche die Erfahrung beſtätigt, und wornach die ſtationären Punkte des Merkurs, je nach den Umſtänden, in 15° bis 20° Elongation von der Sonne fallen, und diejenigen der Venus in eine Elongation, welche nie viel von 29° verſchieden iſt. Erſterer bleibt ungefähr 22 Tage, und letztere 42 Tage lang rückläufig.

407) Wir haben geſagt, daß einige Planeten Lichtgeſtalten darbieten, gleich dem Monde. Dieſes iſt ſowohl beim Merkur, als auch bei der Venus, der Fall, was ſich leicht aus einer Betrachtung ihrer Bahnen, ſo wie wir dieſelben oben angenommen haben, erklärt. Es bedarf in der That wenig mehr, als eine bloße Betrachtung der Fig. 54, um ſich zu überzeugen, daß, für einen Beobachter auf der Erde E, ein unterer Planet, der von der Sonne erleuchtet wird und deßhalb auf der ihr zugewendeten Seite hell, auf der von ihr abgewendeten dunkel iſt, in der obern Conjunction A voll erſcheinen müſſe, ſtumpf abgerundet (d. h. mehr als halbvoll, wie der Mond zwiſchen dem erſten Viertel und dem Vollmonde,) zwiſchen dieſem Punkte und den Punkten B, C ſeiner größten Elongation, ſodann halbvoll in dieſen Punkten, und endlich ſichelförmig oder gehörnt zwiſchen dieſen und der untern Conjunction D. Je mehr ſich der Planet dieſem letztern Punkte nähert, muß die Sichel immer mehr abnehmen und endlich ganz verſchwinden*), ſo daß der Planet unſichtbar wird, außer in denjenigen Fällen, wo er vor der Sonnenſcheibe vorüber-

*) Anmerkung. Bei der Venus ereignet es ſich zuweilen, daß ſie ſelbſt an dem Tage ihrer untern Conjunction nicht gänzlich verſchwindet. Hat dieſelbe nämlich um dieſe Zeit eine merkliche nördliche oder ſüdliche Breite, ſo ragt von ihrer, der Sonne zugewendeten, erleuchteten Seite noch ein kleiner Theil zu uns herüber, und man kann alsdann bei nördlicher Breite den ſüdlichen, bei ſüdlicher den nördlichen Rand derſelben mit guten Fernröhren noch als eine zarte halbkreisförmige Lichtlinie deutlich erkennen. Dieſe intereſſante Erſcheinung iſt bereits öfter, und auch von mir ſelbſt, beobachtet worden. — N.

geht und auf derſelben als ein ſchwarzer Fleck erſcheint. Alle dieſe Erſcheinungen ſtimmen mit der Beobachtung genau überein, und, was beſonders bemerkt zu werden verdient, ſie ſind als nothwendige Folgen des Copernicaniſchen Syſtemes ſchon vor der Erfindung der Fernröhre vorausgeſagt worden.

408) Die Veränderung des Glanzes der Venus in den verſchiedenen Theilen ihrer ſcheinbaren Bahn iſt ſehr auffallend. Sie rührt von zwei Urſachen her: 1) von dem veränderlichen Verhältniſſe ihrer ſichtbaren erleuchteten Fläche zu ihrer ganzen Scheibe; und 2) von dem veränderlichen Winkeldurchmeſſer oder der ganzen ſcheinbaren Größe der Scheibe ſelbſt. So wie ſich die Venus aus ihrer größten Elongation der untern Conjunction nähert, nimmt ſie die Geſtalt einer Sichel an, welche immer ſchmaler wird; allein dieſer Umſtand wird einige Zeit lang mehr als erſetzt dadurch, daß ihre ſcheinbare Größe mit der Abnahme ihrer Entfernung von der Erde wächst. Auf dieſe Weiſe nimmt der Glanz des Planeten zu, bis er endlich ein Maximum erreicht, welches bei einer Elongation von ungefähr 40° ſtattfindet.

409) Die Vorübergänge der Venus vor der Sonne ſind ſehr ſeltene Erſcheinungen, indem ſie abwechſelnd nach Zeiträumen von 8 und von 113 Jahren vorfallen. Als aſtronomiſche Erſcheinungen ſind ſie indeſſen äußerſt wichtig, indem ſie das beſte und ſicherſte Mittel darbieten, die Entfernung der Sonne von der Erde, oder ihre Parallaxe, zu beſtimmen. Ohne hier in die Einzelnheiten der Auflöſung dieſer Aufgabe, welche bei der großen Menge der zu beachtenden Umſtände ſich ſehr unter einander verwickeln, einzugehen, wollen wir blos das Prinzip dieſer Rechnung erläutern, welches an und für ſich ſehr einfach und einleuchtend iſt. Es ſei (Fig. 55) E die Erde, V die Venus und S die Sonne, ferner CD dasjenige Stück der ſcheinbaren Bahn der Venus, welches ſie beſchreibt, während ſie vor der Sonnenſcheibe vorübergeht. A, B mögen zwei Beobachter an den einander gegenüberliegenden Endpunkten desjenigen Erddurchmeſſers ſeyn, welcher ſenkrecht auf der Ekliptik ſteht; und um die Sache nicht zu verwickeln, wollen wir die Umdrehung der Erde

ganz bei Seite ſetzen und annehmen, daß A und B dieſe Lage während der ganzen Zeit des Vorüberganges behalten. In dem Augenblicke nun, wo der Beobachter A den Mittelpunkt der Venus auf der Sonnenſcheibe in a projicirt erblickt, wird ihn der Beobachter B in b projicirt ſehen. Wenn alſo der Beobachter A z. B. ſich ſchnell von A nach B begeben könnte, ſo würde er die Venus auf der Sonnenſcheibe plötzlich von a nach b verſetzt erblicken; und beſäße er die Mittel, den Ort dieſer Punkte auf der Sonnenſcheibe, entweder durch mikrometriſche Meſſungen ihrer Abſtände vom Rande der Sonne, oder auf irgend eine andere Weiſe, genau zu erforſchen, ſo könnte er den Winkelabſtand von a b, wie er von der Erde aus geſehen wird, beſtimmen. Da nun A V a, B V b gerade Linien ſind und deshalb auf jeder Seite von V gleiche Winkel bilden, ſo wird ſich a b zu A B verhalten, wie ſich die Entfernung der Venus von der Sonne zu ihrer Entfernung von der Erde verhält, d. h. wie 68 zu 27, oder beinahe wie $2\frac{1}{2}$ zu 1. Folglich nimmt a b auf der Sonnenſcheibe einen Raum ein, der $2\frac{1}{2}$ mal ſo groß iſt, als der Erddurchmeſſer, und der Winkelabſtand von a und b iſt deshalb $2\frac{1}{2}$ ſcheinbaren Erddurchmeſſern in der Entfernung der Sonne, oder (was daſſelbe iſt) der fünffachen Horizontalparallaxe der Sonne gleich (Art. 298.) Wird daher in der Meſſung von a b ein Fehler begangen, ſo wird nur der fünfte Theil deſſelben auf die aus jener Meſſung gefolgerte Horizontalparallaxe kommen.

410) Dasjenige alſo, was beſtimmt werden muß, iſt eigentlich nichts anderes, als die Breite der Zone P Q R S, p q r s, welche von den äußerſten Linien eingeſchloſſen wird, die der Mittelpunkt der Venus von ſeinem Eintritte in die Sonnenſcheibe auf der einen Seite bis zu ſeinem Austritte auf der andern Seite beſchreibt. Das ganze Geſchäft der Beobachter bei A und B beſteht alſo darin, daß jeder an ſeinem Standorte mit aller möglichen Sorgfalt und Genauigkeit dieſe Linie beſtimmt, nämlich wo ſie anfängt und wo ſie endet, und welches Segment der Sonnenſcheibe ſie abſchneidet. Dieſes kann nun (in Verbindung mit ſorgfältigen mikrometriſchen

Meſſungen) am genaueſten dadurch geſchehen, daß die Zeit notirt wird, welche während des ganzen Durchganges verfließt; denn da die relative Winkelbewegung der Venus wirklich ſehr genau aus den Tafeln ihrer Bewegung bekannt iſt, und da die ſcheinbare Bahn ſehr nahe eine gerade Linie bildet, ſo geben uns dieſe beobachteten Zeiten ein Maaß (und zwar nach einem ſehr großen Maaßſtabe) für die Länge der Chorden der abgeſchnittenen Segmente; und da ferner der Durchmeſſer der Sonne ebenfalls ſehr genau bekannt iſt, ſo erfährt man auf dieſe Weiſe ihre Querſinus und alſo auch ihre Differenz, oder die Breite der fraglichen Zone. Um dieſe Zeitdauer des Vorüberganges richtig zu erhalten, muß jeder Beobachter die Augenblicke beſtimmen, in welchen der Mittelpunkt der Venus in die Sonnenſcheibe eintritt und wieder austritt. Für dieſen Zweck muß er 1) den Augenblick notiren, in welchem der erſte ſichtbare Eindruck oder Ausſchnitt im Rande der Sonnenſcheibe bei P entſteht, oder die erſte äußere Berührung erfolgt; 2) wenn der Planet vollſtändig in die Scheibe eingetreten iſt und der unterbrochene Rand derſelben ſich eben wieder bei Q ſchließt, oder die erſte innere Berührung ſtatt findet; und endlich muß er dieſelben Beobachtungen beim Austritte in R S anſtellen. Aus den Momenten der innern und äußern Berührungen kann man leicht die Zeiten des Eintrittes und Austrittes des Mittelpunkts des Planeten herleiten.

411) Die Modificationen, welche bei dieſem Verfahren wegen der Umdrehung der Erde um ihre Axe und wegen anderer geographiſcher Standpunkte der Beobachter, als hier angenommen worden ſind, noch ſtattfinden müſſen, ſind in ihren Grundſätzen denjenigen ähnlich, welche bei der Berechnung einer Sonnenfinſterniß oder einer Sternbedeckung in Anwendung gebracht werden. Es würde uns indeſſen hier zu weit führen, wenn wir ſie in nähere Betrachtung ziehen wollten; aber die Anſicht, welche wir von der Sache aufgeſtellt haben, gewährt uns ein treffliches Beiſpiel der Art und Weiſe, wie geringfügige Elemente in der Aſtronomie in ihren Wirkungen vergrößert, und, indem man ſie einer Meſſung nach

einem ſehr großen Maaßſtabe unterwirft, oder die Meſſung der Zeit derjenigen des Raumes ſubſtituirt, mit einem für alle Zwecke hinlänglichen Grade von Genauigkeit beſtimmt werden können, ſobald man nur günſtige Gelegenheiten abwartet, und vortheilhafte Combinationen der Umſtände ſorgfältig dabei benutzt. Dieſe Beobachtungen haben die Aſtronomen für ſo wichtig gehalten, daß beim letzten Durchgange der Venus durch die Sonne im Jahre 1769 von der brittiſchen, franzöſiſchen, ruſſiſchen und andern Regierungen eigene Expeditionen nach den entfernteſten Gegenden der Erde ausgerüſtet worden ſind, blos um dieſen Durchgang zu beobachten. Eine derſelben war die berühmte Expedition des Capitain Cook nach Otaheite. Sämmtliche, ſowohl bei dieſer merkwürdigen Veranlaſſung, als auch bei dem vorhergehenden Durchgange von 1761 angeſtellten Beobachtungen geben als allgemeines Reſultat 8″,5776 für die Horizontalparallaxe der Sonne.

412) Die Bahn des Merkurs iſt ſehr elliptiſch, indem ihre Excentricität beinahe den vierten Theil der mittlern Entfernung beträgt. Dieſes ergibt ſich aus der Ungleichheit der zu verſchiedenen Zeiten beobachteten größten Elongation von der Sonne, welche zwiſchen 16° 12′ und 28° 48′ ſchwanken; und aus genauen Meſſungen ſolcher Elongationen läßt ſich leicht folgern, daß auch die Bahn der Venus ein wenig excentriſch iſt, und daß dieſe beiden Planeten in der That Ellipſen beſchreiben, deren gemeinſchaftlicher Brennpunkt die Sonne iſt.

413) Wir wollen uns nun zur Betrachtung der obern Planeten wenden, oder derjenigen, deren Bahnen die Bahn der Erde auf allen Seiten einſchließen. Daß ſie dieſes wirklich thun, läßt ſich aus mehrern Umſtänden nachweiſen: —

1) Sie ſind nicht, wie die untern Planeten, auf gewiſſe Grenzen der Elongation von der Sonne beſchränkt, ſondern erſcheinen in allen Entfernungen von ihr, ſelbſt in der der Sonne gegenüber liegenden Himmelsgegend, oder, wie man es zu nennen pflegt, in Oppoſition mit derſelben. Dieſes könnte nicht der Fall ſeyn, wenn

ſich die Erde alsdann nicht zwiſchen ihnen und der Sonne befände.

2) Sie erſcheinen nie ſichelförmig, wie Venus oder Merkur, ſelbſt nicht einmal halbvoll. Im Gegentheil zeigen ſich uns diejenigen, welche wegen der Kleinheit ihrer Parallaxe am entfernteſten von uns ſeyn müſſen, nämlich Jupiter, Saturn und Uranus, niemals anders, als rund, was ſchon ein hinlänglicher Beweis iſt, daß wir ſie immer in einer Richtung ſehen, die nicht ſehr entfernt von derjenigen iſt, in welcher ſie von den Sonnenſtrahlen erleuchtet werden, und daß wir deßhalb einen Standpunkt einnehmen, welcher niemals ſehr weit vom Mittelpunkte ihrer Bahnen entfernt iſt, oder mit andern Worten, daß die Erdbahn gänzlich von ihren Bahnen eingeſchloſſen wird und in Vergleich mit ihnen einen kleinen Durchmeſſer beſitzt. Nur einer von ihnen, nämlich Mars, bietet zuweilen eine bemerkliche Phaſe dar, von ſtumpf abgerundeter Form, die ſich jedoch nie weit von vollkommener Kreisgeſtalt entfernt, indem der erleuchtete Theil des Mars nie weniger, als 7/8 ſeiner ganzen Scheibe beträgt. Um dieſes einzuſehen, braucht man nur Fig. 56 näher zu betrachten, in welcher E die Erde in ihrer ſcheinbaren größten Ausweichung von der Sonne S, vom Mars M aus geſehen, vorſtellt. In dieſer Lage iſt der Winkel S M E, welcher von den Linien S M und E M eingeſchloſſen wird, am größten; und deshalb iſt alsdann ein Beobachter auf der Erde im Stande, einen größern Theil der dunkeln Halbkugel des Mars zu ſehen, als in irgend einer andern Lage. Der größte Betrag der Phaſe, oder die größte bemerkbare Abweichung von vollkommener Kreisgeſtalt, gibt demnach ein Maaß (ein richtiges, wenn gleich ein rohes und plumbes) des Winkels S M E, und folglich des Verhältniſſes der Entfernung S M des Mars zu der Entfernung S E der Erde von der Sonne, aus welchem ſich ergibt, daß der Durchmeſſer der Marsbahn nicht weniger betragen könne, als 1 1/2 Durchmeſſer der Erdbahn. Da die Phaſen des Jupiter, Saturn und Uranus unbemerkbar ſind, ſo folgt daraus, daß ihre Bahnen nicht allein diejenige der Erde, ſondern auch die des Mars einſchließen müſſen.

414) Alle obern Planeten haben bei ihrer Oppoſition, wie auch einige Zeit vorher und nachher, ſcheinbar rückläufige Bewegungen; aber ſie unterſcheiden ſich ſehr von einander in der Größe des ganzen Betrags dieſer rückläufigen Bewegung, in der Dauer derſelben und in der Geſchwindigkeit, wenn dieſe am ſchnellſten iſt. Beim Mars iſt der ganze Betrag der rückläufigen Bewegung größer und die Bewegung ſelbſt geſchwinder als beim Jupiter, beim Jupiter iſt beides beträchtlicher als beim Saturn, und beim Saturn wiederum beträchtlicher als beim Uranus. Die Winkelgeſchwindigkeit, mit welcher ein Planet ſich rückläufig bewegt, läßt ſich leicht dadurch beſtimmen, daß man von Tag zu Tag ſeinen ſcheinbaren Ort am Himmel beobachtet. Aus ſolchen, zur Zeit der Oppoſition angeſtellten, Beobachtungen kann man leicht die relativen Größen ihrer Bahnen, im Vergleich zu derjenigen der Erde, herleiten, ſobald ihre Umlaufszeiten bekannt ſind, durch welche letztere man auch ihre mittleren Winkelgeſchwindigkeiten kennen lernt, indem dieſe ſich umgekehrt verhalten, wie die Umlaufszeiten. Iſt demnach (Fig. 57) E e ein ſehr kleiner Theil der Erdbahn, und M m ein entſprechender Theil der Bahn eines obern Planeten, den er um die Sonne S an dem Tage der Oppoſition beſchreibt, an welchem die drei Himmelskörper in der geraden Linie S E M X liegen, ſo ſind die Winkel E S e und M S m gegeben. Wird nun e m bis zur Linie S M X verlängert, ſo drückt der Winkel e X E, welcher gleich iſt dem Wechſelswinkel X e y, offenbar die rückläufige Bewegung des obern Planeten an dieſem Tage aus, und er iſt deßhalb, als durch die Beobachtung gegeben, ebenfalls bekannt. Da folglich in dem rechtwinkligen Dreiecke E e X die Seite E e und der Winkel E X e gegeben ſind, ſo läßt ſich die Seite E X leicht berechnen, und dadurch wird S X bekannt. Es ſind demnach in dem Dreiecke S m X die Seite S X und die beiden Winkel m S X und m X S gegeben, woraus die beiden anderen Seiten S m und X m ſich leicht herleiten laſſen. Nun iſt S m nichts anderes, als der Halbmeſſer der Bahn des in Frage ſtehenden obern Planeten, welche bei dieſer Berechnung, ſo wie auch diejenige der Erde, als kreisförmig

angenommen iſt. Dieſe Annahme iſt zwar nicht ſtreng richtig, jedoch vollkommen hinreichend, um durch ſie eine befriedigende Annäherung an die wahren Dimenſionen der Bahn des Planeten zu erhalten; und wenn das Verfahren bei jeder Veränderung der Lage, in welcher die Oppoſition ſtatt finden kann, wiederholt wird, ſo bekommt man endlich einen Durchſchnitts- oder mittleren Werth des Durchmeſſers der Planetenbahn, auf den man ſich völlig verlaſſen kann.

415) Um alſo dieſes Princip praktiſch anzuwenden, muß man die Umlaufszeiten der verſchiedenen Planeten kennen. Dieſe kann man, wie bereits oben bemerkt worden iſt, auf direktem Wege erfahren, indem man die Zeiträume zwiſchen ihren Durchgängen durch die Ekliptik beobachtet; aber wegen der ſehr geringen Neigung der Bahnen einiger derſelben, gegen die Ebene der Ekliptik, ſchneiden ſie letztere ſo ſchräg, daß ſich der Moment ihres Eintrittes in dieſelbe nur durch ſehr genaue Beobachtungen beſtimmen läßt. Ein beſſeres Verfahren beſteht darin, aus Beobachtungen an mehreren auf einander folgenden Tagen genau den Zeitpunkt zu beſtimmen, in welchem ſie mit der Sonne in Oppoſition ſind, wo alſo die Längendifferenz zwiſchen der Sonne und dem Planeten genau 180⁰ betragen muß. Der auf dieſe Weiſe erhaltene Zeitunterſchied zwiſchen zwei auf einander folgenden Oppoſitionen iſt näherungsweiſe ein ſynodiſcher Umlauf, und er würde es genau ſeyn, wenn die Bahn des Planeten und diejenige der Erde Kreiſe wären und gleichförmig beſchrieben würden. Da aber dieſes nicht der Fall iſt, wie man aus der Ungleichheit der ſucceſſiven, auf dieſe Art beobachteten, ſynodiſchen Umläufe erſieht, ſo wird der Durchſchnitt einer großen Anzahl derſelben, die in allen Verſchiedenheiten der Lage, wo nur Oppoſitionen vorkommen, beobachtet worden ſind, von der elliptiſchen Ungleichheit frei ſeyn und als der mittlere ſynodiſche Umlauf angenommen werden können. Daraus kann man nun, mit Hülfe der Betrachtungen, die im Art. 353 angewendet wurden, und der Rechnung, welche in der Anmerkung zu dieſem Artikel angegeben iſt, die ſideriſchen Umläufe leicht erhalten. Die Genau-

igkeit dieſer Beſtimmung wird außerdem noch ſehr vermehrt werden, wenn zwiſchen den äußerſten angewendeten Beobachtungen ein langer Zeitraum verfloſſen iſt. Dieſer Zeitraum erſtreckt ſich für diejenigen Planeten, die ſchon die Alten kannten, welche die Beobachtungen derſelben ſo ſorgfältig ausgezeichnet haben, daß ſie noch jetzt brauchbar ſind, in der That bis auf faſt 2000 Jahre. Man kann deßhalb wohl annehmen, daß ihre Umlaufszeiten mit der äußerſten Genauigkeit beſtimmt ſind. Die numeriſchen Werthe derſelben, wie auch die mittleren Entfernungen, ſammt allen andern Elementen der Planetenbahnen, wird man in der ſynoptiſchen Tabelle am Ende dieſes Werkes angegeben finden, und wir verweiſen den Leſer, um Wiederholungen zu vermeiden, ein für allemal auf dieſe Tabelle.

416) Wenn wir das Verzeichniß der Entfernungen der Planeten von der Sonne durchgehen, und dieſelben mit den Umlaufszeiten vergleichen, ſo läßt ſich ein gewiſſer Zuſammenhang hierbei gar nicht verkennen. Je größer die Entfernung, oder je weiter die Bahn iſt, deſto länger iſt offenbar die Umlaufszeit. Die Reihenfolge der Planeten iſt, wenn wir von der Sonne anfangen, immer dieſelbe, mögen wir ſie nach ihren Entfernungen, oder nach ihren Umlaufszeiten anordnen, nämlich folgende: Merkur, Venus, Erde, Mars, die vier neuen Planeten, Jupiter, Saturn und Uranus. Unterſucht man inzwiſchen die Zahlen, welche die Entfernungen und die Umlaufszeiten ausdrücken, genauer, ſo findet man, daß ſie nicht in einer einfachen Proportion zu einander ſtehen. Die Umlaufszeiten nehmen raſcher zu, als die Entfernungen. So iſt z. B. die Umlaufszeit des Merkurs 88 Tage, und diejenige der Erde 365 Tage, was ein Verhältniß von 1 zu 4,15 gibt, während ihre Entfernungen in dem kleineren Verhältniſſe von 1 zu 2,56 ſtehen; und eine ähnliche Bemerkung macht man auch bei allen übrigen Vergleichungen. Immer aber findet man, daß das Verhältniß, in welchem die Umlaufszeiten zunehmen, kleiner iſt, als dasjenige der Quadrate der Entfernungen. Das Quadrat von 2,56 iſt 6,5536, was bedeutend mehr iſt, als 4,15. Ein zwiſchenliegendes Verhält-

niß der Zunahme, zwiſchen dem einfachen Verhältniſſe der Entfernungen und demjenigen ihrer Quadrate, gibt ſich alſo deutlich aus der Aufeinanderfolge der Zahlen zu erkennen; aber es gehörte bei dem berühmten Kepler auſſerordentlicher Scharfſinn, verbunden mit ungewöhnlicher Beharrlichkeit und großem Fleiße, dazu, um zu einer Zeit, wo die Data der Aufgabe ſelbſt noch in Dunkelheit gehüllt, und die Verfahrungsarten der Trigonometrie und des numeriſchen Calculs noch mit Schwierigkeiten umgeben waren, von denen wir ſeit der Erfindung der Logarithmentafeln zum Glück keinen Begriff mehr haben, das wahre Geſetz ihres Zuſammenhanges zu entdecken und zu beweiſen. Dieſer Zuſammenhang iſt in folgendem Satze ausgedrückt: „Die Quadrate der Umlaufszeiten zweier Planeten verhalten ſich zu einander, wie die Würfel ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne.“ Nimmt man z. B. die Erde und den Mars *), deren Umlaufszeiten in dem Verhältniſſe von 3652564 zu 6869796 ſtehen, und deren Entfernungen von der Sonne ſich wie 100000 zu 152369 verhalten, ſo wird man finden, wenn man die Mühe der Berechnung nicht ſcheut, daß

$$(3652564)^2 : (6869796)^2 = (100000)^3 : (152369)^3.$$

417) Unter allen Geſetzen, zu welchen der Menſch aus reiner Beobachtung durch Induction jemals gelangt iſt, kann man dieſes dritte Geſetz Kepler's (wie man es zu nennen pflegt) mit Recht als das merkwürdigſte und als das an wichtigen Folgerungen fruchtbarſte anſehen. Wenn wir die Beſtandtheile des Planetenſyſtemes aus dem Geſichtspunkte betrachten, den uns dieſe Beziehung unter ihnen darbietet, ſo iſt es nicht mehr eine bloße Analogie, die wir bewundern, nicht mehr eine bloße allgemeine Aehnlichkeit unter, von einander unabhängigen, einzelnen Körpern, welche ihre Bahnen um die

---

*) Der Ausdruck dieſes Kepler'ſchen Geſetzes erheiſcht, wenn die äußerſte Schärfe der Rechnung erreicht werden ſoll, noch eine geringe Modification, namentlich für die größeren Planeten, in Folge des Einfluſſes ihrer eigenen Maſſen. Für die Erde und den Mars iſt dieſe Correction ganz unmerklich.

Sonne beſchreiben, und zwar ein jeder für ſich nach ſeiner eigenthümlichen Natur, und mit derſelben durch ein eigenthümliches Band verbunden. Die Aehnlichkeit unter ihnen wird jetzt als eine wahre Familienähnlichkeit erkannt; es umſchlingt ſie ein gemeinſames Band, ſie ſind verwebt in ein einziges Netz von gegenſeitiger Beziehung und harmoniſcher Uebereinſtimmung, ſie ſind einem und demſelben durchdringenden Einfluſſe unterworfen, der vom Mittelpunkte bis zu den äußerſten Grenzen dieſes großen Syſtemes reicht, von welchem ſie alle, mit Einſchluß der Erde, hinfort als die einzelnen Glieder betrachtet werden müſſen.

418) Das Geſetz, nach welchem ſich die Planeten in Ellipſen bewegen, deren einen Brennpunkt die Sonne einnimmt, ſo wie dasjenige, daß die Linie, welche die Sonne und den Planeten verbindet, in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beſchreibt, war urſprünglich von Kepler aus einer näheren Betrachtung der beobachteten Bewegungen des Mars hergeleitet, und dann von ihm analogiſch auf alle anderen Planeten ausgedehnt worden. Wie gewagt auch damals eine ſolche Ausdehnung erſchienen ſeyn mag, ſo hat ſie ſich doch durch die neuere Aſtronomie als eine Thatſache vollkommen beſtätigt, indem ihre Reſultate mit allen Beobachtungen der ſcheinbaren Orte der Planeten durchaus im Einklange ſtehen. Man hat gefunden, daß dieſe Geſetze auf eine völlig genügende Weiſe mit der Annahme einer beſondern Ellipſe für jeden Planeten übereinſtimmen, deren Größe, Excentricität und Lage im Raume in der bereits erwähnten ſynoptiſchen Tabelle numeriſch angegeben ſind. Wenn indeſſen die Beobachtungen mit großer Genauigkeit angeſtellt werden, und wenn jeder Planet durch viele auf einander folgende Umläufe beobachtet und auch ſein früherer Lauf, mit Hülfe der auf jene Data gegründeten Berechnungen, auf mehrere Jahrhunderte zurück verfolgt wird, ſo lernen wir die Kepler'ſchen Geſetze nur als erſte Annäherungen an noch weit verwickeltere, die in der Wirklichkeit ſtatt finden, betrachten; und um entfernte Beobachtungen in ſtrengen und mathematiſchen Einklang mit einander zu bringen und zu gleicher Zeit die äußerſt bequemen

Benennungen und Relationen des elliptiſchen Syſtemes beizubehalten, wird es nothwendig, bis zu einer gewiſſen Extenſion unſeren wörtlichen Ausdruck der Geſetze zu modificiren, und die numeriſchen Data oder die elliptiſchen Elemente der Planetenbahnen als nicht abſolut permanent, ſondern als einer Reihe äußerſt langſamer und faſt unmerklicher Veränderungen unterworfen, zu betrachten. Dieſe Veränderungen können vernachläßigt werden, ſobald wir nur eine kleine Zahl von Umläufen berückſichtigen; ſchreiten wir aber von Jahrhundert zu Jahrhundert fort, wodurch ſie ſich beſtändig anhäufen, ſo erzeugen ſie endlich in den Bahnen beträchtliche Abweichungen von ihrem urſprünglichen Zuſtande. Ihre Erklärung bildet den Gegenſtand eines folgenden Capitels; aber gegenwärtig müſſen wir ſie, als zu geringfügig, um die allgemeinen Schlüſſe, mit denen wir es jetzt zu thun haben, zu afficiren, ganz außer Berückſichtigung laſſen.

Durch welche Mittel die Aſtronomen im Stande ſind, die Ergebniſſe der elliptiſchen Theorie mit der Beobachtung zu vergleichen, und ſich dadurch zu überzeugen, daß ſie mit der Natur übereinſtimmen, ſoll jetzt erklärt werden.

419) Es wird indeſſen zuvor nöthig ſeyn, auseinander zu ſetzen, welche beſondere theoretiſche Folgerung in jedem der drei Geſetze Kepler's, wenn wir ſie als vollkommen begründet betrachten, enthalten iſt; welche Anzeige ein jedes derſelben über die in unſerm Syſteme vorherrſchenden mechaniſchen Kräfte und über die Verbindungsart ſeiner einzelnen Theile gewährt; und wie ſie, von dieſem Geſichtspunkte aus betrachtet, die Baſis bilden, auf welche Newton ſeine Erklärung des Mechanismus des Himmels hauptſächlich gegründet hat. Demnach wollen wir mit dem erſten Geſetze beginnen, welches lehrt, daß gleiche Flächenräume in gleichen Zeiten beſchrieben werden. —

Da ſich die Planeten in krummlinigen Bahnen bewegen, ſo müſſen ſie (wenn ſie Körper ſind, welche unter dynamiſchen Geſetzen ſtehen) von ihrem ſonſt natürlichen geradlinigen Wege durch eine Kraft abgelenkt

werden; und aus dem fraglichen Geſetze, das ſich durch die Beobachtung thatſächlich beſtätigt hat, folgt, daß die Richtung dieſer Kraft in jedem Punkte der Bahn eines jeden Planeten immer durch die Sonne geht. Unbekümmert darum, aus welcher endlichen Urſache die Kraft entſpringt, welche wir Gravitation nennen, — ſey ſie eine Eigenſchaft, welche der Sonne eigenthümlich inhärirt, oder ein Druck von außen, oder das Ergebniß vielfacher Preſſionen oder Impulſe unbekannter Fluida, eines magnetiſchen oder eines elektriſchen Aethers, — ſo iſt ſie doch immer, wenn ſie am Ende zu unſerer Betrachtung gelangt und zu einer einzigen reſultirenden Kraftäußerung ſummirt wird, überall von jedem Punkte aus gegen den Mittelpunkt der Sonne gerichtet. Als einen theoretiſchen dynamiſchen Satz findet der Leſer in Newton's Principia Prop. I. mit einer elementaren Einfachheit, welche durch jeden Zuſatz nur verdunkelt werden würde, bewieſen, daß ein Körper, welcher gegen einen gewiſſen Mittelpunkt von irgend einer beſtändig dahin gerichteten Kraft getrieben, und dadurch in eine krummlinige Bahn abgelenkt wird, um dieſen Mittelpunkt gleiche Flächenräume in gleichen Zeiten beſchreibt; und umgekehrt, daß gerade dieſes Beſchreiben gleicher Flächenräume das weſentliche Criterium einer beſtändigen Richtung der wirkenden Kraft gegen den Mittelpunkt iſt, um welchen ſie beſchrieben werden. Das erſte Geſetz Kepler's gibt uns alſo keine Auskunft über die Natur oder die Intenſität der Kraft, welche die Planeten gegen die Sonne treibt, ſondern es lehrt uns blos, daß eine ſolche Kraft beſteht. Sie iſt eine Eigenſchaft der krummlinigen Bewegung unter dem Einfluſſe von Centralkräften im Allgemeinen, und als ſolche bietet ſie ſich uns täglich in tauſend bekannten Fällen dar. Eine einfache experimentale Erläuterung derſelben hat man z. B., wenn man eine Kugel an einen dünnen Faden bindet, ſie darauf mit mäßiger Geſchwindigkeit in einer vertikalen Ebene umſchwingen läßt, und ſodann das Ende des Fadens durch einen kleinen Ring zieht, oder denſelben ſich am Finger, oder an einem in horizontaler Lage ſehr feſt gehaltenen cylindriſchen Stabe, aufwickeln läßt. Die Kugel

wird ſich alsdann dem Mittelpunkte der Bewegung in einer Spiral-Linie nähern; und die Zunahme ihrer Winkel-, wie auch ihrer Lineargeſchwindigkeit, ferner die raſche Abnahme ihrer Umlaufszeit, je mehr ſie ſich dem Mittelpunkte nähert, werden deutlicher, als alle Worte, die Compenſation zeigen, durch welche ihr gleichförmiges Beſchreiben von Flächenräumen bei einer beſtändigen Abnahme ihrer Entfernung unterhalten wird. Läßt man die Bewegung umgekehrt ſtatt finden, ſo daß der Faden ſich abwickelt, und verſetzt man die Kugel anfangs in raſche Umdrehung, ſo wird die Geſchwindigkeit in demſelben Grade abnehmen, in welchem ſie vorher zugenommen hatte. — Die zunehmende Geſchwindigkeit der Kreiswendung eines Tänzers, wenn er ſeine Schenkel an ſich zieht und dem ganzen Körper eine gerade Haltung gibt, um jeden Theil deſſelben ſo viel als möglich der Axe ſeiner Bewegung zu nähern, iſt ein anderes Beiſpiel, in welchem der Zuſammenhang der beobachteten Wirkung mit der ausgeübten Centralkraft zwar nicht ſo augenfällig, jedoch ebenfalls wirklich vorhanden iſt.

420) Das zweite Geſetz Keplers, oder dasjenige, welches lehrt, daß die Planeten Ellipſen um die Sonne beſchreiben, in deren einem Brennpunkte die letztere ſteht, ſchließt, als eine Folge, das Geſetz ein, nach welchem die Sonnengravitation (ſo wollen wir die Kraft nennen, welche die Planeten nach der Sonne zieht) auf jeden einzelnen Planeten, unabhängig von den übrigen, wirkt. Den Lehren der Dynamik zufolge iſt die gerade Linie der einzige Weg, den ein abſolut freier Körper, auf welchen keine äußere Kraft einwirkt, verfolgen kann. Jede Ablenkung von derſelben ſpricht für die Aeuſſerung einer Kraft, und je größer die Ablenkung in gleichen Zeiten iſt, deſto ſtärker iſt die Kraft. Ablenkung von einer geraden Linie iſt nur ein anderer Ausdruck für Krümmung der Bahn, und gleichwie ſich ein Kreis durch die Gleichförmigkeit ſeiner Krümmung in allen ſeinen Theilen characteriſirt, ſo characteriſirt ſich auch jede andere Curve (wie z. B. eine Ellipſe) durch das beſondere Geſetz, welches die Zunahme und Abnahme ihrer Krümmung längs ihres Umfanges beſtimmt. Die

ablenkende Kraft nun, welche bewirkt, daß ein in Bewegung befindlicher Körper beſtändig von der geraden Richtung abweicht, läßt ſich beſtimmen, ſobald man erſtlich ihre Richtung, und zweitens das Krümmungsgeſetz der Curve ſelbſt kennt. Dieſe beiden Elemente ſind für die Beſtimmung der Kraft unentbehrlich. Ein Körper kann unter ſehr verſchiedenartigen Anordnungen der wirkenden Kräfte eine Ellipſe, wie wir annehmen wollen, beſchreiben. Er kann z. B. wie ein Kügelchen auf einem polirten, zu einer Ellipſe gebogenen Draht in dieſer Bahn fortſchreiten, in welchem Falle die wirkende Kraft immer ſenkrecht zum Draht, und die Geſchwindigkeit gleichförmig iſt. Alsdann iſt die Kraft nicht gegen einen feſten Mittelpunkt gerichtet, und es werden keine gleichen Flächenräume beſchrieben. Oder der Körper kann eine Ellipſe beſchreiben auf die Weiſe, wie es der Fall iſt, wenn man eine Kugel an einer ſehr langen Schnur aufhängt, ſie ein wenig von der ſenkrechten Richtung abzieht, und alsdann durch einen ſchwachen Seitenimpuls in horizontale Umſchwingungen verſetzt. In dieſem Falle iſt die wirkende Kraft gegen den Mittelpunkt der Ellipſe gerichtet, um welchen gleiche Flächenräume beſchrieben werden, und gegen welchen eine der Entfernung proportionale Kraft (die zerlegte terreſtriſche Schwere) die Kugel beſtändig hintreibt. Dieſes Experiment iſt eben ſo leicht, als belehrend, und wir werden uns auf daſſelbe wiederum beziehen. In dem vorliegenden Falle, wo eine Ellipſe durch die Wirkung einer gegen den Brennpunkt gerichteten Kraft beſchrieben wird, ſind folgende Sätze zu erwägen, um das Geſetz der Kraft aufzufinden: 1) das Geſetz der Flächenräume beſtimmt die jedesmalige Geſchwindigkeit des umlaufenden Körpers an jedem Punkte, oder den Raum, den er in einem gegebenen kleinen Zeittheilchen wirklich durchlaufen hat; 2) das Geſetz der Krümmung der Ellipſe beſtimmt den, dem durchlaufenen Raume entſprechenden, linearen und in der Richtung des Brennpunktes genommenen, Betrag der Abweichung von der Tangente; 3) die Geſetze der beſchleunigten Bewegung beſagen, daß die Intenſität der wirkenden Kraft, welche eine ſolche, in ihrer eigenen

Richtung genommene, Abweichung herbeiführt, durch den Betrag dieſer Abweichung ſelbſt gemeſſen wird, oder demſelben proportional iſt. Sie kann folglich für jede beſondere Lage berechnet, oder auch durch geometriſche oder algebraiſche Zeichen allgemein als ein Geſetz ausgedrückt werden, welches von beſondern Lagen unabhängig iſt, je nachdem man jene Abweichung ſelbſt entweder speciell berechnet, oder allgemein ausdrückt. Hierauf gründet ſich das Verfahren, durch welches Newton dieſes wichtige Problem gelöſet hat. In Bezug auf das geometriſche Detail verweiſen wir auf die dritte Section des erſten Buches ſeiner Principia.

Es iſt uns kein Mittel bekannt, dieſe Art der elliptiſchen Bewegung künſtlich nachzuahmen, wohl aber eine rohe Annäherung an dieſelbe, die jedoch hinreichend iſt, um einen Begriff von der abwechſelnden Annäherung des umlaufenden Körpers an den Brennpunkt und ſeiner Wiederentfernung von ihm, ſo wie auch von der Veränderung ſeiner Geſchwindigkeit, zu geben, und welche darin beſteht, daß man ein kleines ſtählernes Kügelchen an einem feinen und ſehr langen ſeidenen Faden aufhängt, und daſſelbe eine kleine Bahn um den Pol eines ſtarken, cylindriſchen Magneten beſchreiben läßt, den man aufrecht und vertikal unter den Aufhängungspunkt des Kügelchens hält.

421) Das dritte Geſetz Kepler's, welches durch eine allgemeine Regel die Entfernungen und Umlaufszeiten der Planeten mit einander verbindet, ſchließt, zugleich als theoretiſche Interpretation deſſelben, die wichtige Folgerung in ſich, daß es eine und dieſelbe, nur durch die Entfernung von der Sonne modificirte, Kraft ſey, welche alle Planeten in ihren Bahnen um die Sonne erhält. Dieſes Geſetz zeigt, daß die Anziehung der Sonne (wenn darin das Weſen dieſer Kraft beſteht) auf alle Weltkörper unſeres Syſtemes ohne Unterſchied, und ohne Rückſicht auf die eigenthümlichen Stoffe, aus denen ſie beſtehen mögen, ausgeübt wird, und zwar im genauen Verhältniſſe ihrer Trägheit, oder der Quantität des Stoffes, aus welchem jeder zuſammengeſetzt iſt; daß folglich dieſe Kraft nicht die Natur der chemiſchen Wahlver-

wandtſchaft, oder der magnetiſchen Kraft, welche ſich nur gegen Eiſen und eine oder zwei andere Subſtanzen äuſſert, ſondern einen weit univerſellern Character beſitzt, und ſich gleichmäßig auf alle materiellen Beſtandtheile unſeres Syſtemes erſtreckt, ſo wie auch (wofür wir weiter unten reichliche Gründe finden werden) auf diejenigen anderer Syſteme, als das unſrige. So wichtig und allgemein dieſes Geſetz iſt, ſo geht es doch aus den Relationen, welche Newton in der vorhin citirten Section ſeiner Principia aufgeſtellt hat, als der einfachſte Zuſatz (Prop. 15) hervor. Es folgt aus demſelben, daß, wenn die Erde aus ihrer gegenwärtigen Bahn genommen, und abermals in den Weltraum an den Ort, in der Richtung und mit der Geſchwindigkeit eines der andern Planeten geſchleudert würde, ſie ganz dieſelbe Bahn und zwar in derſelben Zeit beſchreiben müßte, welche jener Planet jetzt wirklich beſchreibt, bis auf eine äußerſt geringe Correction der Umlaufs-Zeit, welche aus der Differenz der Maſſe der Erde und derjenigen des Planeten entſpringt. Obgleich die Planeten, mit der Sonne verglichen, klein ſind, ſo erſcheinen doch einige von ihnen bei dieſer Vergleichung nicht, wie die Erde, als wahre Atome. Der eigentliche Wortlaut des Kepler'ſchen Geſetzes iſt, wie Newton (Principia Prop. 59) dargethan hat, nur auf Planeten anwendbar, deren Maſſe gegen diejenige des Centralkörpers abſolut verſchwindet. Sobald dieſes nicht der Fall iſt, wird die Umlaufszeit kürzer im Verhältniſſe der Quadratwurzel aus der Zahl, welche die Maſſe oder Trägheit der Sonne ausdrückt, zu derjenigen aus der Summe der Zahlen, welche die Maſſen der Sonne und des Planeten ausdrücken. Ueberhaupt, welches auch die Maſſen zweier Körper ſeyn mögen, die ſich dem Newton'ſchen Gravitationsgeſetze zufolge um einander bewegen, ſo wird das Quadrat ihrer Umlaufszeit ſtets einem Bruche proportional ſeyn, deſſen Zähler der Würfel ihrer mittlern gegenſeitigen Entfernung, d. h. der halben großen Axe ihrer elliptiſchen Bahn, und deſſen Nenner die Summe ihrer Maſſen iſt. Wenn eine der Maſſen unverhältnißmäßig größer iſt, als die andere, ſo löſet ſich dieſer Satz in das Kepler'ſche Geſetz auf; wo aber dieſes nicht der

Fall iſt, da vertritt der ſo generaliſirte Satz die Stelle dieſes Geſetzes. In dem Planetenſyſteme iſt jedoch die dadurch herbeigeführte numeriſche Correction der Reſultate des Kepler'ſchen Geſetzes zu gering, als daß ſie von einiger Wichtigkeit ſeyn könnte, indem die Maſſe des größten unſerer Planeten (des Jupiters) noch nicht den tauſendſten Theil der Sonnenmaſſe beträgt. Wir werden indeſſen, wenn von den Satelliten die Rede ſeyn wird, ſogleich die ganze Wichtigkeit dieſer Generaliſirung des Geſetzes einſehen.

422) Zuvor wird es indeſſen zweckmäßig ſeyn, zu erklären, durch welchen Rechnungsproceß die elliptiſche Bahn eines Planeten durch ihre Elemente ausgedrückt, mit den Beobachtungen verglichen werden kann, und wie wir uns überzeugen können, daß die numeriſchen Angaben, welche in einer Tabelle dieſer Elemente für das ganze Planetenſyſtem enthalten ſind, wirklich eine richtige Darſtellung von ihm geben, und die Mittel gewähren, den Zuſtand deſſelben in jedem Augenblicke blos durch Anwendung der Kepler'ſchen Geſetze zu beſtimmen. Für dieſen Zweck iſt es nun erforderlich, daß man von jedem Planeten kennt: 1) die Größe und Form ſeiner Ellipſe; 2) die Lage dieſer Ellipſe im Raum, in Bezug auf die Ekliptik und auf eine feſte, in derſelben gezogene Linie; 3) den Ort des Planeten in ſeiner Ellipſe zu irgend einer gegebenen Zeit, und 4) ſeine Umlaufszeit oder mittlere Winkelgeſchwindigkeit, oder auch, wie man es nennt, ſeine mittlere Bewegung.

423) Die Größe und die Form einer Ellipſe werden beſtimmt, durch ihre größte Länge und ihre größte Breite, oder durch ihre beiden Hauptaxen; aber für den aſtronomiſchen Gebrauch iſt es zweckmäßiger, ſich der halben großen Axe (der Hälfte der größten Länge) und der Excentricität (d. h. des Abſtandes des Brennpunktes vom Mittelpunkte) zu bedienen, welche letztere jedoch gewöhnlich in Theilen der erſtern ausgedrückt wird. So hat z. B. in einer Ellipſe, deren Länge nach irgend einem Maaßſtabe 10 Theile und die Breite 8 Theile beträgt, die halbe große Axe 5 ſolcher Theile, und die Excentricität 3 Theile; wird aber die letztere in Theilen der hal-

den großen Axe ausgedrückt und dieſe ſelbſt als Einheit betrachtet, ſo erhält man für die Excentricität den Bruch $^3/_5$.

424) Die Ekliptik iſt diejenige Ebene, auf welche ein Bewohner der Erde am natürlichſten die übrigen Körper des Sonnenſyſtems, als auf eine Art von Grundebene, bezieht; und die Axe der Erdbahn könnte als eine Anfangslinie angenommen werden, von welcher aus man in dieſer Ebene die Winkelabſtände rechnet. Wäre dieſe Axe feſt, ſo würde ſie den allerbeſten Anfangspunkt für die Längen abgeben; da ſie aber eine Bewegung hat (wiewohl eine außerordentlich langſame), ſo gewährt es durchaus nicht mehr Vortheil, von dieſer Axe aus zu zählen, als von der Linie der Nachtgleichen, und die Aſtronomen ziehen deshalb die letztere vor, indem ſie die Veränderung derſelben in Folge der Präceſſion und Nutation in Rechnung bringen, und ſie dadurch für jeden Augenblick auf eine feſte Lage reduciren.

Um nun die Lage der von einem Planeten beſchriebenen Ellipſe in Bezug auf die Ebene der Ekliptik feſtzuſetzen, müſſen drei Elemente bekannt ſeyn: 1) die Neigung der Ebene der Planetenbahn gegen die Ebene der Ekliptik; 2) die Linie, in welcher dieſe beiden Ebenen einander ſchneiden, die alſo nothwendig durch die Sonne geht, und deren Lage in Bezug auf die Aequinoctiallinie mithin gegeben iſt, ſobald man ihre Länge, d. h. den Winkel kennt, den ſie mit der Aequinoctiallinie bildet. Dieſe Linie heißt die Knotenlinie. Wenn ſich der Planet in dieſer Linie befindet, in dem Augenblicke, wo er von der ſüdlichen Seite der Ekliptik in die nördliche übergeht, ſo iſt er in ſeinem aufſteigenden Knoten, und ſeine Länge in dieſem Augenblicke iſt dasjenige Element, welches die Länge des Knotens genannt wird. Durch dieſe beiden Angaben wird die Lage der Ebene der Bahn feſtgeſtellt; und um die Lage der Ellipſe des Planeten vollſtändig zu beſtimmen, braucht man 3) nur noch zu wiſſen, wie ſie in dieſer Ebene liegt, welche Lage (da die Sonne ſich im Brennpunkte der Ellipſe befindet) dadurch bekannt wird, daß man die Länge der Sonnennähe oder denjenigen Ort angibt, den das der

Sonne zunächſt liegende Ende der Axe einnimmt, wenn daſſelbe orthographiſch auf die Ekliptik projicirt wird.

425) Sind die Dimenſionen und die Lage der Bahn des Planeten auf dieſe Weiſe feſtgeſtellt, ſo braucht man, um mit ſeinem Laufe vollſtändig bekannt zu werden, nur noch die Umſtände ſeiner Bewegung in dieſer Bahn zu wiſſen. Und hierzu genügt es, das Zeitmoment zu kennen, in welchem der Planet ſich entweder in der Sonnennähe, oder in einem andern genau beſtimmten Punkte ſeiner Bahn befindet, und auſſerdem noch die Dauer ſeiner Umlaufszeit; denn ſind dieſe beiden Elemente bekannt, ſo beſtimmt das Geſetz der Flächenräume den Ort des Planeten für jeden andern Augenblick. Giebt man den Moment an, in welchem ſich der Planet in ſeiner Sonnennähe befindet, ſo heißt dieſes Element der Durchgang durch die Sonnennähe, und wenn irgend ein anderer Punkt der Bahn, ohne ſpeciellen Bezug auf die Sonnennähe, hiefür genommen wird, ſo nennt man es die Epoche.

426) Wir haben alſo für jeden Planeten ſieben beſondere Punkte oder Elemente, welche in Zahlen angegeben ſeyn müſſen, ehe wir den Stand des Planetenſyſtemes für irgend einen gegebenen Augenblick berechnen können. Sind aber dieſe bekannt, ſo läßt ſich der ſcheinbare Ort jedes Planeten, in welchem er ſowohl von der Sonne aus geſehen werden würde, als auch von der Erde aus wirklich geſehen wird, für jede Zeit leicht berechnen. Erſterer heißt der heliocentriſche und letzterer der geocentriſche Ort des Planeten.

427) Wir wollen mit den heliocentriſchen Orten anfangen. Es ſey S (Fig. 58) die Sonne, und A P N die Bahn des Planeten, welche elliptiſch iſt, ſo daß die Sonne S ſich im Brennpunkte der Ellipſe befindet und A der Punkt der Sonnennähe iſt; ferner ſtelle p a N ♈ die Projection der Bahn auf der Ebene der Ekliptik dar, welche die Aequinoctiallinie S♈ in ♈ ſchneidet, von wo aus alſo die Längengrade gezählt werden. Alsdann wird S N die Knotenlinie ſeyn; und wenn man annimmt, daß B auf der Südſeite und A auf der Nordſeite der Ekliptik liegt, und daß die Richtung der Planetenbewegung

von B nach A geht, ſo wird N der aufſteigende Knoten und der Winkel ♈ S N die Länge des Knotens ſeyn. Eben ſo werden, wenn P der Ort des Planeten zu irgend einer Zeit iſt, und wenn man ſowohl ihn als auch die Sonnennähe A auf die Ekliptik nach den Punkten p und a projicirt, die Winkel ♈ S p und ♈ S a bezüglich die heliocentriſche Länge des Planeten und diejenige der Sonnennähe ſeyn, von denen die erſtere zu beſtimmen, und die letztere eines der gegebenen Elemente iſt. Der Winkel p S P endlich iſt die heliocentriſche Breite des Planeten, die ebenfalls beſtimmt werden muß.

428) Da nun die Zeit, für welche der Ort des Planeten geſucht werden ſoll, gegeben iſt, und auch der Moment, in dem der Planet durch die Sonnennähe geht, ſo iſt damit der Zeitraum gegeben, in welchem er den Theil A P ſeiner Bahn beſchreibt, und da die Umlaufszeit nebſt dem ganzen Flächenraume der Ellipſe bekannt iſt, ſo gibt das Geſetz des Verhältniſſes der Flächenräume zu den Zeiten, in welchen ſie beſchrieben werden, die Größe des Flächenraumes A S P. Nun iſt es eine rein geometriſche Aufgabe, hieraus den entſprechenden Winkel A S P zu beſtimmen, welcher die wahre Anomalie des Planeten heißt. Dieſe Aufgabe gehört zu den ſogenannten tranſcendentalen, und ſie läßt ſich durch vielerlei Verfahrungsarten, von denen manche mehr, manche weniger verwickelt ſind, auflöſen. Sie bietet indeſſen keine beſondere Schwierigkeit dar, und in der Praxis bedient man ſich zu ihrer Auflöſung der Hülfe von Tafeln, die zu dieſem Zwecke für jeden Planeten beſonders berechnet worden ſind *).

---

*) Es iſt leicht zu begreifen, daß, mit Ausnahme des Falles einer gleichförmigen Kreisbewegung, das Beſchreiben gleicher Flächenräume, um einen Mittelpunkt herum, ſich nicht verträgt mit dem Beſchreiben gleicher Winkel. Der Zweck der im Texte beſprochenen Aufgabe iſt alſo der, von dem Flächenraume, den wir als bekannt vorausſetzen, auf den Winkel überzugehen, den wir als unbekannt annehmen, oder mit andern Worten, den wahren Betrag der Winkelbewegung von der Sonnennähe an, nämlich die wahre Anomalie, aus dem abzuleiten, was man mit dem techniſchen Ausdrucke die

429) Hat man die wahre Anomalie auf dieſe Weiſe gefunden, ſo muß der Winkelabſtand des Planeten vom Knoten, oder der Winkel N S P, ausgemittelt werden. Da nun die Längen der Sonnennähe und des Knotens ♈ a und ♈ N gegeben ſind, ſo iſt auch ihre Differenz a N gegeben, und der Winkel N des ſphäriſchen rechtwinkligen Dreieckes A N a, welcher die Neigung der Ebene der Bahn gegen die Ekliptik ausdrückt, iſt ebenfalls bekannt. Daraus berechnen wir den Bogen N A, oder den Winkel NSA*), welcher, zu der wahren Anomalie A S P

---

mittlere Anomalie nennt, d. h. aus der mittlern Winkelbewegung, welche zurückgelegt ſeyn würde, wenn die Bewegung, ſtatt *im Flächenraume* gleichförmig zu ſeyn, es *im Winkel* geweſen wäre. Es trifft ſich nun zum Glück, daß dieſes unter allen Aufgaben tranſcendentaler Art eine der einfachſten iſt, welche ſelbſt in dem ſchwierigſten Falle durch die Regel der ſogenannten falſchen Poſition, oder des Verſuchs und des Fehlers, in ſehr wenigen Minuten gelöſt werden kann. Ja man kann ſie ſogar augenblicklich mittelſt eines einfachen und leicht auszuführenden Mechanismus auflöſen, von welchem der Leſer eine Beſchreibung in den Cambridge Philosophical Transactions, Vol. IV. pag. 425 von dem Verfaſſer dieſes Werkes finden kann.

*) *Zuſatz.* Die von dem Verfaſſer am Schluſſe des Art. 424 gegebene Erklärung der *Länge der Sonnennähe* enthält nicht denjenigen Begriff, den man gewöhnlich mit dieſem Ausdrucke verbindet. In der gewöhnlichen und allgemein angenommenen Bedeutung des Ausdrucks „*Länge der Sonnennähe oder des Perihels*" wird darunter bei den Planeten (wie auch bei den rechtläufigen Kometen) die Summe der Knotenlänge ♈ S N und des Winkels N S A, den der kleinſte Abſtand des Planeten von der Sonne S A mit der Knotenlinie S N *in der Ebene der Planetenbahn* bildet, verſtanden, nicht aber die Summe der Knotenlänge und des Winkels N S a, welcher die *Projection* des Winkels N S A auf der Ebene der Ekliptik iſt. Dieſer gewöhnlichen Bedeutung gemäß iſt auch die numeriſche Angabe zu verſtehen, die man in allen Verzeichniſſen der Planetenelemente für das Element der *Länge der Sonnennähe* angeſetzt findet, und man iſt daher der im Texte vorgeſchriebenen, trigonometriſchen Berechnung des Winkels N S A überhoben, indem ſich derſelbe ſogleich ergibt, wenn man von der in dieſem gewöhnlichen Sinne angeſetzten Länge der Sonnennähe die Länge des Knotens abzieht. — Nimmt man bei allen Kometen, ohne

addirt, den verlangten Winkel N S P gibt. Aus dieſem Winkel, der das Maaß des Bogens N P iſt, welcher die Hypothenuſe des rechtwinkligen ſphäriſchen Dreieckes P N p bildet, deſſen Winkel N, wie vorhin, bekannt iſt, laſſen ſich leicht die beiden andern Seiten N p und P p herleiten. Letztere, welche das Maaß des Winkels p S P iſt, drückt die heliocentriſche Breite des Planeten aus; die erſtere mißt den Winkel N S p, oder die Entfernung des Planeten in der Länge von ſeinem Knoten, welche, zu der bekannten Knotenlänge ♈ S N addirt, die heliocentriſche Länge des Planeten gibt. Wie umſtändlich auch dieſes Verfahren erſcheinen möge, ſo läßt es ſich doch, wenn man es einmal gehörig erlernt hat, mit Hülfe der gewöhnlichen logarithmiſchen und trigonometriſchen Tafeln in nicht viel mehr Zeit numeriſch ausführen, als der Leſer vielleicht bedarf, um die Beſchreibung deſſelben zu durchgehen.

430) Der geocentriſche Ort eines Planeten iſt von dem heliocentriſchen verſchieden durch jene parallactiſche Veränderung des ſcheinbaren Ortes, die von der Bewegung der Erde in ihrer Bahn herrührt. Wäre die Entfernung der Planeten ſo groß, als diejenige der Fixſterne, ſo würde dieſe Erdbewegung, von ihnen aus geſehen, ganz unmerklich ſeyn, und ſie würden dieſelben relativen Orte unter den Fixſternen einnehmen, als wenn wir ſie von der Sonne aus betrachteten, d. h. wir würden ſie in ihren *heliocentriſchen* Orten erblicken. Der Un-

---

Unterſchied, an, daß die Neigung der Ebene der Kometenbahn gegen die Ekliptik einen rechten Winkel nicht überſchreite, ſo wird der hier feſtgeſtellte Begriff der Länge der Sonnennähe bei den ſogenannten *rückläufigen* Kometen dadurch modificirt, daß, um dieſes Element zu beſtimmen, der obige, von dem kleinſten Abſtande von der Sonne und der Knotenlinie in der Ebene der Kometenbahn eingeſchloſſene Winkel nicht, wie bei den rechtläufigen Kometen und bei den Planeten, zu der Länge des Knotens *addirt*, ſondern von ihr *ſubtrahirt* wird. Umgekehrt erhält man alſo in dieſen Fällen den fraglichen Winkel ebenfalls ganz einfach dadurch, daß man die auf dieſe Weiſe angeſetzte Länge der Sonnennähe von der Länge des Knotens abzieht. N.

terſchied zwiſchen den heliocentriſchen und geocentriſchen Orten eines Planeten iſt alſo in der That nichts anderes, als ſeine Parallaxe, die aus der Entfernung der Erde vom Mittelpunkte des Planetenſyſtemes und aus ihrer jährlichen Bewegung um denſelben entſteht. Es folgt hieraus, daß der erſte Schritt zu einer Kenntniß des Betrags dieſer Parallaxe und der damit verbundenen Beſtimmung des ſcheinbaren, von der Erde auf die Sphäre der Fixſterne bezogenen, Ortes eines jeden Planeten darin beſtehen müſſe, das Verhältniß der Linear-Entfernungen deſſelben von der Erde und von der Sonne zu der Entfernung der Erde von der Sonne, ſo wie auch die gegenſeitige Lage dieſer drei Linien auszumitteln.

431) Nehmen wir alſo an, daß S (Fig. 59) die Sonne, E die Erde und P den Planeten, ferner S ♈ die Nachtgleichenlinie, ♈ E die Erdbahn und P p eine von dem Planeten auf die Ekliptik gefällte ſenkrechte Linie bezeichne, ſo wird der Winkel S P E (nach dem im Art. 69 gegebenen allgemeinen Begriff der Parallaxe) die Parallaxe des Planeten ausdrücken, welche aus der Verlegung des Standpunktes von S nach E entſteht. E P wird die ſcheinbare Richtung des Planeten, von E aus geſehen, ſeyn; und wenn man S Q parallel mit E p zieht, ſo wird der Winkel ♈ S Q die geocentriſche Länge des Planeten ausdrücken, während ♈ S E die heliocentriſche Länge der Erde und ♈ S p die heliocentriſche Länge des Planeten iſt. Die erſtere von dieſen, nämlich ♈ S E, findet man aus den Sonnentafeln, und die letztere, ♈ S p, durch das oben beſchriebene Verfahren (Art 429). Auſſerdem iſt S P der Radius Vector des Planeten und S E derjenige der Erde, und beide werden beſtimmt aus den bekannten Dimenſionen ihrer reſpectiven Ellipſen und den Orten, welche die beiden Körper zur gegebenen Zeit in denſelben einnehmen. Der Winkel P S p endlich iſt die heliocentriſche Breite des Planeten.

432) Es iſt nun unſere Aufgabe, aus allen dieſen gegebenen Größen die Winkel ♈ S Q und P E p zu beſtimmen, welcher letztere die geocentriſche Breite des Planeten iſt. Das ganze Verfahren beſteht demnach in Folgendem: 1) In dem, in p rechtwinkligen Dreiecke S P p,

in welchem S P und der Winkel P S p (der Radius Vector und die heliocentriſche Breite des Planeten) gegeben ſind, berechnet man die Seiten S p und P p; 2) in dem Dreiecke S E p, in welchem S p eben gefunden iſt, und S E (der Radius Vector der Erde) ſo wie der Winkel E S p (die Differenz der heliocentriſchen Längen der Erde und des Planeten) gegeben ſind, berechnet man den Winkel S p E und die Seite E p. Erſterer, welcher gleich iſt dem Wechſelswinkel p S Q, iſt die Parallaxe des Planeten in der Länge, die, zu ♈ S p addirt, die geſuchte geocentriſche Länge gibt. Die Seite E p (der ſogenannte curtirte Abſtand des Planeten von der Erde) gibt ſogleich die geocentriſche-Breite mittelſt des in p rechtwinkligen Dreieckes P E p, in welchem E p und P p die bekannten Seiten und der Winkel P E p die geſuchte geocentriſche Breite iſt.

433) Die für dieſe Zwecke nöthigen Rechnungen ſind weiter nichts, als ganz gewöhnliche Verfahrungsarten der ebenen Trigonometrie, und obſchon mit etwas Mühe verknüpft, ſind ſie doch weder verwickelt, noch ſchwierig. Ihre Ausführung gibt uns indeſſen das Mittel an die Hand, die wirklich beobachteten Orte der Planeten mit den Ergebniſſen der elliptiſchen Theorie völlig genau zu vergleichen, und letztere auf dieſe Weiſe der ſtrengſten Prüfung zu unterwerfen. Nur auf das Zeugniß ſolcher, mit beobachteten Thatſachen verglichenen Rechnungen können wir behaupten, daß die zum Grunde liegende Theorie eine treue Darſtellung der Natur ſey.

434) Die Planeten Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn ſind ſeit den früheſten Zeiten, in denen die Aſtronomie ſich auszubilden anfing, bekannt geweſen. Uranus wurde im Jahr 1781 am 13. März von Sir W. Herſchel bei einer Reviſion des Himmels entdeckt, wo jeder in einem Fernrohre von einer gewiſſen optiſchen Kraft ſichtbare Stern einer ſorgfältigen Unterſuchung unterworfen, und der neue Planet, unter Anwendung einer ſtarken Vergrößerung, ſogleich an ſeiner Scheibe erkannt wurde. Man hat ſich ſeitdem überzeugt, daß er bereits bei manchen frühern Gelegenheiten mit Fernröhren beobachtet worden iſt, die nicht ſtark genug waren, um ſeine

Scheibe erkennen zu laſſen, und daß er ſelbſt im Stern-Verzeichniſſe als ein Fixſtern eingetragen worden iſt. Einige dieſer ſo aufbewahrten Beobachtungen haben mit dazu beigetragen, unſere Kenntniß ſeiner Bahn zu verbeſſern und zu erweitern. Die Entdeckung der neuen Planeten ſchreibt ſich vom erſten Tage des Jahres 1801 her, an welchem Ceres von Piazzi in Palermo entdeckt worden iſt; bald darauf wurde Juno von Profeſſor Harding in Göttingen, und Pallas und Veſta von Dr. Olbers in Bremen entdeckt. Es iſt ein ſehr merkwürdiger Umſtand, daß dieſe wichtige Vermehrung unſeres Planetenſyſtems gewiſſermaßen geahnet und für wahrſcheinlich gehalten worden iſt, aus dem Grunde, weil die Zwiſchenräume der Planetenbahnen von der Sonne abwärts ſich beinahe verdoppeln. So iſt z. B. der Raum zwiſchen den Bahnen der Erde und der Venus ungefähr doppelt ſo groß, als derjenige zwiſchen den Bahnen der Venus und des Merkurs; der Raum zwiſchen dem Mars und der Erde ziemlich noch einmal ſo groß, als derjenige zwiſchen der Erde und Venus u. ſ. w. Der Raum zwiſchen den Bahnen des Jupiters und des Mars iſt indeſſen zu groß, und er würde eine Ausnahme von dieſem Geſetze bilden, welches nachher, bei den drei entferntern Planeten, wiederum ſeine volle Anwendung findet. Der verſtorbene Profeſſor Bode zu Berlin ſtellte deßhalb die Vermuthung auf, daß zwiſchen Mars und Jupiter noch ein Planet vorhanden ſeyn könne; und man kann ſich leicht das Erſtaunen der Aſtronomen vorſtellen, als vier Planeten entdeckt wurden, deren Bahnen ziemlich gut mit dem fraglichen Geſetze übereinſtimmen. Von dieſer ſonderbaren Progreſſion, die nicht, wie die Kepler'ſchen Geſetze, ſich numeriſch ganz genau beſtätigt, läßt ſich a priori, oder aus der Theorie keine Erklärung geben; aber die eben angeführten Umſtände beſtärken die Anſicht, daß hier etwas mehr, als ein blos zufälliges Zuſammentreffen, zum Grunde liege, und daß dieſe Progreſſion wohl weſentlich zum Organismus unſeres Syſtemes gehöre. Man hat die Hypotheſe aufgeſtellt, daß die neuen Planeten Bruchſtücke eines größern ſeyen, welcher früher in dieſem Raume ſeine Bahn gehabt habe, aber durch

eine Exploſion in Atome zerſprengt worden ſey, und daß vielleicht noch mehrere ſolcher Bruchſtücke vorhanden ſeyn können, die man in der Folge noch entdecken werde. Es möge dieſes als ein Beiſpiel von den Träumen angeſehen werden, denen ſich auch Aſtronomen, gleich andern ſpeculativen Köpfen, zuweilen harmlos überlaſſen.

435) Wir wollen den Reſt dieſes Capitels einer Schilderung der phyſiſchen Eigenthümlichkeiten und der muthmaßlichen Beſchaffenheit der verſchiedenen Planeten widmen, in ſo weit nämlich erſtere durch Beobachtung bekannt ſind, und die letztere auf wahrſcheinlichen Gründen der Conjectur beruht. Hierbei drängen ſich uns hauptſächlich dreierlei Rückſichten auf, die, wenn die Planeten gleich unſerer Erde bewohnt ſind, nothwendig in den Vorkehrungen, durch welche das thieriſche Leben unterhalten wird, eine große Mannigfaltigkeit herbeiführen müſſen. Hierher gehört zuerſt die Verſchiedenheit in der Verſorgung derſelben mit Licht und Wärme durch die Sonne; zweitens die Verſchiedenheit in der Intenſität der Schwerkraft, die an ihren Oberflächen ſtatt finden muß, oder mit andern Worten, das verſchiedene Verhältniß der Trägheit der Körper auf den Planeten zu ihrem Gewichte; und drittens die Verſchiedenheit in der Natur der Stoffe, aus welchen ſie, nach dem, was uns von ihrer mittlern Dichtigkeit bekannt iſt, aller Wahrſcheinlichkeit nach beſtehen müſſen. Die Intenſität der Sonnenausſtrahlung iſt auf dem Merkur etwa ſiebenmal größer, als auf der Erde, und auf dem Uranus 330 mal ſchwächer, ſo daß das Verhältniß zwiſchen den beiden Extremen noch größer iſt, als das von 2000 zu 1. Man ſtelle ſich nur den Zuſtand unſerer Erde vor, wenn die Sonne ſiebenfach vorhanden wäre (ohne dabei die größere Körpermaſſe zu berückſichtigen), oder wenn ſie bis auf $^1/_7$ oder bis auf $^1/_{300}$ ihrer gegenwärtigen Kraft vermindert würde! Ferner iſt die Intenſität der Schwere, oder das Vermögen derſelben, der Muskelkraft entgegen zu wirken und die animaliſche Thätigkeit zu hemmen, auf dem Jupiter etwa dreimal ſo groß, als auf der Erde, auf dem Mars nur $^1/_3$ ſo groß, auf dem Monde $^1/_6$, und auf den vier kleineren Planeten wahrſcheinlich nicht größer

als $1/_{20}$. Dieſes gibt einen Maßſtab, deſſen Extreme ungefähr in dem Verhältniſſe von 60 zu 1 ſtehen. Endlich beträgt die Dichtigkeit des Saturns kaum mehr, als $1/_8$ der mittlern Dichtigkeit der Erde, ſo daß er aus Stoffen beſtehen muß, die nicht viel ſchwerer als Kork ſind. Welche unermeßliche Mannigfaltigkeit müſſen wir nun nicht, bei der Verſchiedenheit der Verbindungen dieſer für das Leben ſo wichtigen Elemente, in den Bedingungen jenes großen Problemes der Erhaltung des thieriſchen Lebens und der intellectuellen Exiſtenz und Glückſeligkeit einräumen, welches, ſo weit wir nach dem, was wir auf unſerm eigenen Planeten ringsum erblicken, und nach der Art und Weiſe urtheilen können, in der jeder Winkel deſſelben mit lebenden Geſchöpfen angefüllt iſt, ein ſtetes und würdiges Ziel zu bilden ſcheint für die Ausübung der höchſten Güte und Weisheit, die Alles beherrſcht!

436) Wir wollen indeſſen das Feld der reinen Speculation verlaſſen, um mitzutheilen, welche Belehrung uns das Fernrohr, ſo weit es ſolches vermag, über die wirkliche Beſchaffenheit der verſchiedenen Planeten zukommen läßt. Vom Merkur können wir nicht viel mehr ſehen, als daß er rund iſt und Lichtgeſtalten darbietet. Er iſt zu klein und der Sonne immer zu nahe, als daß wir über ſeine Beſchaffenheit mehr entdecken könnten. Der wirkliche Durchmeſſer des Merkurs beträgt etwa 3200 engliſche Meilen; ſein ſcheinbarer Durchmeſſer verändert ſich von 5″ bis zu 12″. Auch Venus bietet keine merkwürdigen Eigenthümlichkeiten dar. Obgleich ihr wahrer Durchmeſſer 7800 engliſche Meilen beträgt, und obſchon ſie zuweilen den beträchtlichen ſcheinbaren Durchmeſſer von 61″ erlangt, welcher größer iſt, als bei irgend einem der andern Planeten, ſo hält es doch bei ihr am ſchwerſten, ſie mit Fernröhren deutlich zu erkennen. Der große Glanz ihres erleuchteten Theiles blendet das Auge und vergrößert jeden Fehler des Fernrohrs; aber doch ſehen wir mit Beſtimmtheit, daß ihre Oberfläche nicht, wie die des Mondes, mit bleibenden Flecken beſetzt iſt; wir bemerken auf ihr weder Gebirge, noch Schatten, ſondern einen gleichförmigen Glanz, in welchem man manchmal allerdings dunklere Theile zu erkennen glaubt,

ſich aber ſelten oder nie davon vollkommen überzeugen kann. Aus einigen Beobachtungen dieſer Art hat man gefolgert, daß ſowohl Venus, als Merkur, ſich in ungefähr derſelben Zeit, wie die Erde, um ihre Axe drehen. Da die Flecke ſehr ſelten erſcheinen und keine Beſtändigkeit beſitzen, ſo iſt es ſehr natürlich, hieraus zu ſchließen, daß man nicht, wie beim Monde, die eigentliche Oberfläche dieſer Planeten, ſondern nur ihre ſtark mit Wolken angefüllten Atmoſphären erblickt, die dazu beitragen können, den ſonſt ſehr ſtarken Glanz des Sonnenſcheines auf ihnen zu mildern.

437) Ganz anders verhält es ſich mit dem Mars. Auf dieſem Planeten erkennen wir ganz deutlich die Umriſſe von dem, was Feſtländer und Meere ſeyn können. (Siehe Taf. I. Fig. 1, welche den Mars in ſeinem ſtumpf abgerundeten Zuſtande darſtellt, wie er am 16. Auguſt 1830 in dem zwanzigfüßigen Spiegelteleſcop zu Slough geſehen worden iſt.) Die Theile, welche man für Feſtländer halten kann, zeichnen ſich durch jene röthliche Farbe aus, welche das Licht dieſes Planeten characteriſirt (der immer roth und feurig erſcheint), und die ohne Zweifel einen ocherartigen Anſtrich des ganzen Bodens anzeigt, ähnlich dem, wie ſich die Diſtricte des rothen Sandſteines auf der Erde vielleicht den Bewohnern des Mars darſtellen mögen. Dagegen erſcheinen die Meere, wie wir ſie nennen wollen, (nach einem allgemeinen optiſchen Geſetze) grünlich *). Dieſe Flecke ſind indeſſen nicht immer gleich deutlich zu ſehen, obſchon ſie, ſobald ſie ſichtbar ſind, immer dieſelbe Erſcheinung darbieten. Dieſes kann daher rühren, daß dem Planeten Atmoſphäre und Wolken **) nicht gänzlich fehlen; und was dieſe Vermuthung ſehr beſtärkt, iſt die Erſcheinung glänzend weißer

---

*) Ich habe die im Texte beſchriebenen Erſcheinungen mehrmals beobachtet, niemals aber deutlicher, als bei jener Gelegenheit, wo die Zeichnung gemacht wurde, nach welcher die Figur auf Taf. I. geſtochen worden iſt. Der Verfaſſer.

**) Man hat vermuthet, daß Mars eine ſehr ausgedehnte Atmoſphäre habe, ohne jedoch hinlängliche, oder ſelbſt nur wahrſcheinliche, Gründe dafür zu beſitzen.

Flecke an ſeinen Polen (einer davon iſt in unſerer Figur angegeben), die man mit ſehr großer Wahrſcheinlichkeit für Schnee hält, weil ſie verſchwinden, wenn ſie der Sonne lange Zeit ausgeſetzt geweſen ſind, und ſich am größten zeigen, wenn ſie aus der langen Nacht ihres Polarwinters eben zum Vorſchein kommen. Dadurch, daß man die Flecke eine ganze Nacht hindurch, und mehrere Nächte nach einander, beobachtet hat, iſt gefunden worden, daß der Mars ſich um eine Axe dreht, die eine Neigung von 30° 18′ gegen die Ekliptik hat, und zwar in einer Zeit von 24 Stunden, 39 Minuten, 21 Sekunden, in derſelben Richtung, wie die Erde, oder von Weſten nach Oſten. Der größte und kleinſte ſcheinbare Durchmeſſer des Mars iſt 18″ und 4″, und ſein wahrer Durchmeſſer beträgt ungefähr 4100 engliſche Meilen.

438) Wir kommen nun zu einem weit prächtigern Planeten, dem größten von allen, nämlich zum Jupiter, deſſen Durchmeſſer nicht weniger als 87000 engliſche Meilen beträgt, und deſſen Volumen etwa 1300 mal größer, als dasjenige der Erde iſt. Er iſt auſſerdem durch die Begleitung von vier Monden, Trabanten oder ſogenannten Nebenplaneten ausgezeichnet, die ihn beſtändig umkreiſen, wie der Mond die Erde, und zwar auch in derſelben Richtung, ſo daß ſie mit ihrem Hauptplaneten ein ſchönes Planetenſyſtem im Kleinen bilden, ganz dem größern ähnlich, von welchem ihr Centralkörper ſelbſt einen Theil ausmacht, wobei ſie den nämlichen Geſezen Folge leiſten, und auf die treffendſte und belehrendſte Weiſe einen Beleg für die Herrſchaft der Schwerkraft des Grundprincips ihrer Bewegungen liefern. Von dieſen Trabanten werden wir indeſſen im nächſten Capitel noch ausführlicher handeln.

439) Man ſieht die Scheibe des Jupiters immer in einer gewiſſen Richtung von dunkeln Zonen oder Streifen durchſchnitten, die ſich ſo darſtellen, wie ſie in Taf. I. Fig. 2 angegeben ſind. Letztere Figur gibt dieſen Planeten, wie er am 23. September 1832 mit dem zwanzigfüßigen Spiegelteleſcop zu Slough beobachtet worden iſt. Dieſe Zonen ſind ſich indeſſen keineswegs zu allen Zeiten gleich; ſie verändern ſich rückſichtlich ihrer Breite

und ihrer Lage auf der Scheibe, obſchon die allgemeine Richtung derſelben immer die nämliche bleibt. Man hat ſie ſogar zerriſſen und auf der ganzen Oberfläche des Planeten vertheilt beobachtet; aber dieſe Erſcheinung iſt äußerſt ſelten. Zweige, die von denſelben auslaufen, und Unterabtheilungen, wie in der Figur angegeben ſind, ferner auch deutliche dunkle Flecke, gleich Wolkenzügen, ſind hingegen durchaus nicht ungewöhnlich; und aus einer genauen Beobachtung derſelben iſt gefolgert worden, daß dieſer Planet in der erſtaunlich kurzen Zeit von 9 Stunden, 55 Minuten, 50 Sekunden (Sternzeit) ſich um eine Axe dreht, welche eine auf der Richtung der Streifen ſenkrechte Lage hat. Nun iſt es ſehr merkwürdig, und gewährt einen höchſt genügenden Beleg zu dem Raiſonnement, durch welches die ſphäroidiſche Geſtalt der Erde aus ihrer täglichen Umdrehung gefolgert wurde, daß der Umriß der Scheibe des Jupiters offenbar nicht kreisförmig, ſondern elliptiſch erſcheint, indem dieſelbe in der Richtung ihrer Umdrehungsaxe beträchtlich abgeplattet iſt. Dieſe Erſcheinung iſt keine optiſche Täuſchung, ſondern ſie wird durch mikrometriſche Meſſungen beſtätigt, aus welchen das Verhältniß des Aequatorial- zum Polar-Durchmeſſer, wie 107 zu 100, folgt. Um vollends auf die bündigſte Weiſe die Wahrheit jener Grundſätze zu beſtätigen, auf welche unſere früheren Folgerungen gegründet wurden, und um ihre Ausdehnung auf dieſen entfernten Himmelskörper vollkommen zu rechtfertigen, hat ſich durch Berechnung ergeben, daß dieſes wirklich der Grad der Abplattung ſey, welcher, nach jenen Grundſätzen, den Dimenſionen des Jupiters und der Zeit ſeiner Umdrehung entſpricht.

440) Der Umſtand, daß die Streifen des Jupiters parallel mit dem Aequator deſſelben liegen, ferner ihre zufälligen Veränderungen und die Erſcheinungen von Flecken in ihnen machen es äußerſt wahrſcheinlich, daß ſie ſich in der Atmoſphäre des Planeten befinden, und Striche von verhältnißmäßig klarem Himmel bilden, welche durch Strömungen entſtehen, die unſern Paſſatwinden analog ſind, nur einen beſtändigern und entſchiedenern Charakter haben, wie ſich auch ſchon aus der auf-

ſerordentlichen Geſchwindigkeit der Umdrehung des Jupiters erwarten läßt. Daß es der verhältnißmäßig dunkelere Körper des Planeten ſey, welcher in den Streifen zum Vorſchein kommt, ergibt ſich ſchon daraus, daß ſie gegen den Rand der Scheibe hin nicht ſo deutlich bleiben, ſondern allmählig verſchwinden, ehe ſie ihn erreichen (ſiehe Taf. I. Fig. 2). Der ſcheinbare Durchmeſſer des Jupiters verändert ſich von 30″ bis zu 46″.

441) Ein noch weit wunderbarer, und, wenn man ſo ſagen darf, noch künſtlicher ausgeführter Mechanismus bietet ſich im Saturn dar, welcher der Entfernung nach auf den Jupiter folgt und an Größe demſelben nicht ſehr nachſteht, indem ſein Durchmeſſer etwa 79000 engliſche Meilen beträgt, und ſein Volumen beinahe 1000 mal größer iſt, als dasjenige der Erde, wobei der ſcheinbare Winkeldurchmeſſer deſſelben, von der Erde aus geſehen, ungefähr 16″ beträgt. Dieſe erſtaunliche Kugel wird nicht allein von ſieben Trabanten oder Monden umkreiſet, ſondern iſt auch von zwei breiten, ebenen, auſſerordentlich dünnen Ringen umgeben, die beide mit dem Planeten einerlei Mittelpunkt haben, in einer und derſelben Ebene liegen, und von einander durch einen ſehr ſchmalen Zwiſchenraum, vom Planeten aber durch einen weit beträchtlichern, getrennt ſind. Die Dimenſionen dieſer auſſerordentlichen Umgebung des Planeten ſind folgende*):

		Engl. Meilen.
Aeußerer Durchmeſſer des äußern Ringes	=	176418
Innerer Durchmeſſer des äußern Ringes	=	155272
Aeußerer Durchmeſſer des innern Ringes	=	151690
Innerer Durchmeſſer des innern Ringes	=	117339
Aequatorial-Durchmeſſer des Planeten	=	79160
Raum zwiſchen dem Planeten und dem innern Ringe	=	19090

*) Dieſe Dimenſionen ſind nach Prof. Struve's mikrometriſchen Meſſungen (Mem. Astr. Soc. III. 301) berechnet, ausgenommen die Dicke des Ringes, welche aus meinen eigenen Beobachtungen zur Zeit ſeines neueſten allmähligen Verſchwindens gefolgert worden iſt. Der hier angegebene Zwiſchenraum der Ringe mag vielleicht etwas zu klein ſeyn.

		Engl. Meilen.
Zwiſchenraum der Ringe	=	1791
Dicke der Ringe beträgt nicht über	=	100

Fig. 3 Taf. I. ſtellt den Saturn dar, von ſeinen Ringen umgeben, und mit den auf der Scheibe des Planeten bemerkbaren dunkeln Streifen verſehen, welche denen des Jupiters ziemlich ähnlich, nur breiter und nicht ſo ſcharf markirt ſind, und die ohne Zweifel von einer ähnlichen Urſache herrühren. Daß der Ring eine feſte, undurchſichtige Subſtanz ſey, läßt ſich daraus abnehmen, daß der der Sonne zunächſt liegende Theil des Ringes ſeinen Schatten auf die Oberfläche des Planeten wirft, und der entgegengeſetzte Theil den Schatten des Planeten empfängt, wie in der Figur angegeben iſt. Aus dem Umſtande, daß die Streifen mit der Ebene des Ringes parallel laufen, läßt ſich vermuthen, daß die Umdrehungs-Axe des Planeten ſenkrecht auf dieſer Ebene ſtehe; und dieſe Vermuthung wird dadurch beſtätigt, daß manchmal große dunkle Flecke auf ſeiner Oberfläche zum Vorſchein kommen, welche, auf dieſelbe Art beobachtet, wie die Flecke auf dem Mars oder Jupiter, eine Umdrehung anzeigen, die um eine in ſolcher Lage befindliche Axe in der Zeit von 10 Stunden, 29 Minuten, 17 Sekunden geſchieht.

442) Die Umdrehungsaxe bleibt, wie diejenige der Erde, während der Bewegung des Planeten in ſeiner Bahn beſtändig ſich ſelbſt parallel; und daſſelbe findet auch bei dem Ringe ſtatt, deſſen Ebene beſtändig unter dem nämlichen, oder ſehr nahe dem nämlichen, Winkel gegen die Ebene der Bahn und folglich auch gegen die Ekliptik geneigt iſt (welch letzterer Neigungswinkel 28° 40′ beträgt) und dieſe in einer Linie ſchneidet, welche mit der Nachtgleichenlinie einen Winkel von 170° bildet, ſo daß die Knoten des Ringes in 170° und 350° der Länge liegen. Wenn ſich nun der Planet in der einen oder in der andern dieſer Längen befindet, wie bei A, B, ſo geht die Ebene des Ringes durch die Sonne, die dann nur den Rand deſſelben erleuchtet; und da in demſelben Augenblicke, wegen der Kleinheit der Erdbahn E im Ver-

gleiche zu derjenigen des Saturns, die Erde nothwendig nicht weit auſſerhalb dieſer Ebene liegt, und jedenfalls ein wenig vor oder nach dieſem Momente dieſelbe paſſiren muß, ſo erſcheint der Ring uns dann nur als eine ſehr feine gerade Linie, welche die Scheibe des Planeten durchſchneidet und an jeder Seite ein wenig hervorragt. Der Ring iſt in der That ſo äußerſt dünn, daß er in dieſer Lage nur durch Fernröhre von auſſerordentlicher Kraft erkannt werden kann *). Dieſe merkwürdige Erſcheinung findet immer nach Zeiträumen von 15 Jahren ſtatt, aber das Verſchwinden des Ringes geſchieht in der Regel doppelt, weil die Erde zweimal durch ſeine Ebene geht, ehe die letztere durch die langſame Bewegung des Saturns gänzlich aus der Erdbahn entfernt wird. Je weiter ſich aber der Planet von dieſen Punkten ſeiner Bahn entfernt, deſto mehr wird allmählig die Geſichtslinie gegen die Ebene des Ringes geneigt, der ſich alsdann, nach den Geſetzen der Perſpective, zu einer Ellipſe geſtaltet, welche ihre größte Breite erlangt, wenn der Planet 90° von den Knoten entfernt iſt, wie bei C D. Nimmt man an, daß oberhalb der Figur Norden und unterhalb derſelben Süden der Ekliptik ſey, ſo wird man nur die Nordſeite des Ringes ſehen, wenn ſich der Planet in dem Halbkreiſe A C B befindet, und nur die Südſeite, wenn er in dem Halbkreiſe A D B iſt. Zur Zeit der größten Oeffnung des Ringes iſt der längere Durchmeſſer deſſelben faſt genau noch einmal ſo groß, als der kürzere.

443) Es drängt ſich ganz natürlich die Frage auf, wie ein ſo erſtaunlicher Bogen, wenn er aus feſten und wägbaren Stoffen beſteht, erhalten werden kann, ohne zuſammen zu fallen und auf den Planeten zu ſtürzen? Die Antwort hierauf findet ſich in einer geſchwinden Umdrehung des Ringes in ſeiner eigenen Ebene, was die Beobachtung dadurch entdeckt hat, daß einige Theile

*) Die Ringe ſind nicht mehr zu erkennen, wenn man ſie zur Zeit ihres ſogenannten Verſchwindens mit einem Spiegelteleſcop von 18 Zollen Oeffnung und 20 Fuß Brennweite beobachtet. (Beobachtung des Verfaſſers am 29. April 1833.)

des Ringes etwas weniger hell ſind, als andere, woraus gefolgert worden iſt, daß ſeine Umdrehungszeit 10 Stunden, 29 Minuten, 17 Secunden betrage. Dieſes iſt nach dem, was uns von den Dimenſionen des Ringes und von der Schwerkraft im Saturnsſyſteme bekannt iſt, ſehr nahe die Umlaufszeit eines Trabanten, welcher vom Saturn eben ſo weit abſteht, als die Mitte der Breite des Ringes. Es iſt alſo die aus dieſer Umdrehung entſtehende Centrifugalkraft, welche den Ring erhält; und obgleich es an ſo feinen Beobachtungen fehlt, durch die man eine Differenz der Umlaufszeiten des innern und äußern Ringes erkennen könnte, ſo iſt es doch mehr als wahrſcheinlich, daß eine ſolche Differenz beſteht, die jeden Ring, unabhängig von dem andern, in einen ähnlichen Zuſtand des Gleichgewichts verſetzt.

444) Obgleich die Ringe, wie wir geſagt haben, mit dem Körper des Saturns ſehr nahe concentriſch ſind, ſo haben doch äußerſt feine, neuerdings angeſtellte, mikrometriſche Meſſungen gezeigt, daß dieſes Zuſammenfallen der Mittelpunkte nicht mathematiſch genau iſt, ſondern daß der Schwerpunkt der Ringe um denjenigen des Saturns oſcillirt, indem derſelbe, nach wahrſcheinlich ſehr complicirten Geſetzen, eine ſehr kleine Bahn um ihn beſchreibt. So geringfügig dieſe Bemerkung auch ſcheinen mag, ſo iſt ſie doch für die Stabilität des Syſtemes der Ringe von der höchſten Wichtigkeit. Nimmt man nämlich an, daß ſie eine mathematiſch vollkommene Kreisgeſtalt beſitzen, und mit dem Planeten genau concentriſch ſind, ſo läßt ſich darthun, daß ſie (ungeachtet ihrer Centrifugalkraft) ein Körperſyſtem von nicht ſtabilem Gleichgewichte bilden würden, welches mithin durch die geringſte äußere Kraft umgeſtürzt werden würde, nicht in der Art, daß ſie ein Zerreißen der Ringe bewirkte, ſondern dadurch, daß ſie dieſelben unzertrümmert zur Oberfläche des Planeten hintriebe. Denn die Anziehung eines ſolchen Ringes oder ſolcher Ringe auf einen Punkt oder eine Kugel, welche excentriſch in denſelben liegt, iſt ſich nicht in allen Richtungen gleich, ſondern ſtrebt, den Punkt oder die Kugel an den nächſten Theil des Ringes, oder vom Mittelpunkte weg, zu ziehen. Nimmt man

alſo an, daß der Planet durch irgend eine Urſache eine auch noch ſo wenig excentriſche Lage in dem Ringe erhalte, ſo iſt das Streben ihrer gegenſeitigen Schwerkraft nicht dahin gerichtet, dieſe Excentricität wieder zu beſeitigen, ſondern vielmehr, ſie immer zu vergrößern, bis die nächſten Theile des Ringes und Planeten zuſammenkommen. (Siehe Cap. 11). Nun finden ſich äußere Kräfte, welche im Stande ſind, eine ſolche Excentricität zu bewirken, in den Anziehungen der Trabanten, wie wir in Cap: 11 ſehen werden; damit aber das Syſtem ſtabil ſey und in ſich ſelbſt das Vermögen beſitze, den erſten Einwirkungen eines ſolchen, anfänglich noch ſchwachen, Strebens durch eine entgegengeſetzte oder erhaltende Kraft Widerſtand zu leiſten, iſt es, wie man gezeigt hat, hinreichend, anzunehmen, daß die Ringe an irgend einem Theile ihres Umfanges etwas mehr belaſtet ſind, entweder durch eine geringe Ungleichheit in der Dicke, oder dadurch, daß einige Theile dichter ſind, als andere. Eine ſolche größere Belaſtung an irgend einer Stelle würde dem ganzen Ringe gewiſſermaßen den Character eines ſchweren und trägen Trabanten geben, der mit einer gewiſſen Kraft, welche hinreichend iſt, kleine Urſachen der Störung zu überwinden, ſich ſelbſt in ſeiner Bahn erhält; und ſie würde hiernach bewirken, daß der Mittelpunkt des Ringes der allgemeine mittlere Unterſtützungspunkt für denſelben bleibt. Wenn wir aber auch die Exiſtenz einer derartigen Belaſtung (für welche wir im Ganzen keinen Beweis haben) nicht vorausſetzen, und damit alſo die allgemeine Unbeſtändigkeit des Gleichgewichtes in ihrem vollen Umfange einräumen, ſo läßt ſich doch, wie wir glauben, in dem periodiſchen Charakter aller Urſachen der Störung eine hinlängliche Bürgſchaft für die Erhaltung deſſelben finden. Um ſich von einer ſolchen Erhaltung des Gleichgewichtes bei einem beſtändigen Streben, daſſelbe aufzuheben, einen allgemeinen Begriff zu machen, ſcheint uns zur Erläuterung kein Gleichniß geeigneter zu ſeyn, als die Art und Weiſe, wie eine geübte Hand eine lange Stange auf dem Finger durch eine beſtändige und faſt unmerkliche Veränderung des Unterſtützungspunktes in ſenkrechter Stellung erhält.

Die Sache verhalte ſich übrigens, wie ſie wolle, ſo iſt die beobachtete Oſcillation der Mittelpunkte der Ringe um denjenigen des Planeten an und für ſich ſelbſt der Beweis eines beſtändigen Kampfes zwiſchen den erhaltenden und zerſtörenden Kräften; beide ſind äußerſt ſchwach, aber mit einander in der Art im Widerſtreite, daß die letzteren nie ein unwiderſtehliches Uebergewicht über die erſteren erlangen und eine Kataſtrophe herbeiführen können.

445) Noch eine andere Bemerkung verdient hier gemacht zu werden. Es iſt nämlich klar, daß die geringſte Verſchiedenheit in der Geſchwindigkeit der Bewegung des Planeten und der Ringe die letzteren unfehlbar auf den erſtern ſtürzen würden, ſo daß eine Trennung nicht mehr ſtatt finden könnte (weil ſie, einmal mit dem Planeten in Berührung gekommen, auch eine Lage von dauerndem Gleichgewichte erlangt haben, und nachher durch eine unermeßliche Kraft feſt an einander gehalten werden würden). Es folgt alſo, daß entweder ihre Bewegungen in ihrer gemeinſchaftlichen Bahn um die Sonne durch eine äußere Kraft mit der größten Genauigkeit regulirt worden ſind, oder daß die Ringe ſich um den Planeten, während ihrer gemeinſchaftlichen Bewegung in ihrer Bahn, und unter dem vollen und freien Einfluſſe aller einwirkenden Kräfte, gebildet haben müſſen.

446) Die Ringe des Saturns müſſen einen prächtigen Anblick in denjenigen Theilen des Planeten gewähren, denen ihre erleuchtete Seite zugekehrt iſt, indem ſie ſich als ungeheuere Bogen zeigen müſſen, welche den Himmel von Horizont zu Horizont umſpannen und eine unveränderliche Lage unter den Fixſternen behalten. Dagegen muß in den hinter der dunkeln Seite befindlichen Theilen, auf welche der Schatten der Ringe fällt, eine Sonnenfinſterniß von fünfzehnjähriger Dauer lebenden Geſchöpfen einen (unſeren Anſichten nach) unwirthlichen Aufenthalt gewähren, der durch das ſchwache Licht der Trabanten nur wenig entſchädigt wird. Aber nach Allem, was wir rings um uns ſehen, möchte es wohl unrecht ſeyn, über ihre gute oder üble Lage ein Urtheil zu fällen, indem vielleicht gerade ſolche Combinationen, welche unſern Geiſt nur Bilder des Schreckens erblicken laſ-

ſen, in der Wirklichkeit diejenigen ſind, in denen ſich die unerſchöpfliche Güte am auffallendſten und herrlichſten entfaltet.

447) Vom Uranus ſehen wir nur eine kleine, runde, gleichförmig erleuchtete Scheibe, ohne Ringe, Streifen, oder ſonſt erkennbare Flecke. Sein ſcheinbarer Durchmeſſer beträgt etwa 4 Sekunden, von welcher Größe er nie ſehr verſchieden iſt, wegen der Kleinheit der Erdbahn im Vergleiche zur ſeinigen. Der wahre Durchmeſſer deſſelben beträgt ungefähr 35000 engliſche Meilen, und ſein Volumen iſt 80 mal größer, als dasjenige der Erde. Er iſt von Trabanten begleitet (wenigſtens von zwei, wahrſcheinlich aber von fünf oder ſechs), deren Bahnen, wie wir im nächſten Capitel ſehen werden, merkwürdige Eigenthümlichkeiten darbieten.

448) Wenn uns die unermeßliche Entfernung des Uranus alle Hoffnung nimmt, große Kenntniß von ſeiner phyſiſchen Beſchaffenheit zu erlangen, ſo liegt in der Kleinheit der vier neuen Planeten ein eben ſo großes Hinderniß, ſie näher kennen zu lernen. Einer derſelben, Pallas, ſoll ein nebliges Anſehen haben, was eine ſehr ausgebreitete und dunſtreiche Atmoſphäre anzeigen würde, welche durch die unzulängliche Schwerkraft einer ſo kleinen Maſſe wenig zuſammengedrückt und verdichtet wird. Die ohne Zweifel merkwürdigſte Eigenthümlichkeit der neuen Planeten beruht gerade auf dieſer auſſerordentlichen Kleinheit ihrer Maſſen. Ein Mann auf irgend einem derſelben würde mit Leichtigkeit 60 Fuß hoch ſpringen und bei ſeinem Herabfallen keine größere Erſchütterung erfahren, als wenn er auf der Erde 3 Fuß hoch ſpringt. Auf ſolchen Planeten könnten Rieſen leben; und jene enormen Thiere, welche auf der Erde der Hebekraft des Waſſers bedürfen, um ihrem Gewichte entgegen zu wirken, könnten dort Bewohner des Landes ſeyn. Doch es würde ſolcher Speculationen kein Ende geben.

449) Wir wollen dieſes Capitel mit einer Erläuterung beſchließen, welche zum Zweck hat, unſern Leſern einen allgemeinen Begriff von den relativen Größen und Entfernungen der einzelnen Theile unſeres Planetenſy-

ſtemes zu geben. Man wähle ein gut geebnetes Feld oder einen Raſenplatz, und lege auf denſelben eine Kugel von zwei Fuß Durchmeſſer, welche die Sonne vorſtellen ſoll. Alsdann wird Merkur durch ein Senfkorn dargeſtellt, auf dem Umfange eines Kreiſes von 164 Fuß im Durchmeſſer, welcher ſeine Bahn bezeichnet; Venus durch eine Erbſe auf einem Kreiſe von 284 Fuß Durchmeſſer; die Erde auch durch eine Erbſe auf einem Kreiſe von 430 Fuß; Mars durch einen etwas ſtarken Nadelknopf auf einem Kreiſe von 654 Fuß; Veſta, Juno, Pallas und Ceres durch Sandkörnchen in Bahnen von 1000 bis 1200 Fuß Durchmeſſer; Jupiter durch eine Orange von mäßiger Größe in einem Kreiſe, deſſen Durchmeſſer nahe eine halbe engliſche Meile beträgt; Saturn durch eine kleine Orange auf einem Kreiſe von $4/5$ einer engliſchen Meile; und Uranus durch eine große Kirſche, oder kleine Pflaume, in dem Umfange eines Kreiſes von mehr als $1\frac{1}{2}$ Meilen im Durchmeſſer. Ob man über dieſen Gegenſtand richtige Anſichten bekommt, wenn man Kreiſe auf Papier zeichnet, oder ſich jener kindiſchen Spielzeuge, der ſogenannten Planetarien, bedient, bedarf keiner Erörterung. Um die Bewegungen der Planeten in den vorhin angegebenen Bahnen nachzuahmen, muß Merkur ſeinen eigenen Durchmeſſer in 41 Sekunden, Venus in 4′ 14″, die Erde in 7′, Mars in 4′ 48″, Jupiter in 2 Stunden 56′, Saturn in 3 Stunden 13′ und Uranus in 2 Stunden 16′ beſchreiben.

Neuntes Kapitel.

Von den Nebenplaneten.

Vom Monde, als einem Trabanten der Erde. — Große Nähe der Trabanten bei ihren Hauptplaneten, und daraus folgende Abhängigkeit der Bewegungen der erſteren von denen der lezteren. — Maſſen der Hauptplaneten, gefolgert aus den Umläufen ihrer Trabanten. — Kepler's Geſeze finden auch bei den Nebenplaneten ſtatt. — Von den Trabanten des Jupiters, ihren Verfinſterungen u. ſ. w. — Durch ſie entdeckte Schnelligkeit des Lichtſtrahls. — Die Trabanten des Saturn. — Vom Uranus.

450) Bei dem jährlichen Umlaufe der Erde um die Sonne wird dieſelbe beſtändig von ihrem Trabanten, dem Monde, begleitet, der ſie umkreiſet; oder genauer genommen, es drehen ſich Erde und Mond um ihren gemeinſchaftlichen Schwerpunkt, und dieſer leztere, nicht aber der Mittelpunkt eines der beiden ſo miteinander verbundenen Körper, bewegt ſich in einer elliptiſchen, durch ihre gegenſeitige Anziehung nicht weiter geſtörten Bahn, gerade ſo, wie der Schwerpunkt eines großen und eines kleinen Steines, die zuſammengebunden und in die Luft geſchleudert werden, eine Parabel beſchreibt, als wenn derſelbe eine materielle, der Anziehung der Erde unterworfene Subſtanz wäre, während die Steine ſich um ihn, oder einer um den andern, drehen, je nach dem Geſichtspunkte, aus welchem man die Sache betrachten will.

451) Wenn wir daher die wahre Curve betrachten, welche der Mittelpunkt des Mondes, oder der Erde, in Folge dieſer zuſammengeſezten Bewegung wirklich beſchreibt, ſo erſcheint uns dieſelbe nicht als eine genaue Ellipſe, ſondern als eine wellenförmige Curve, derjenigen ähnlich, die in Fig. 38 dargeſtellt iſt, nur daß die Zahl

der wellenförmigen Biegungen bei einem ganzen Umlaufe um die Sonne nicht mehr als 13 beträgt, und daß die wirkliche Abweichung derſelben von der allgemeinen Ellipſe, die ihnen als Centrallinie dient, verhältnißmäßig weit kleiner iſt, ſo klein in der That, daß jeder Theil der ſowohl von der Erde, als von dem Monde beſchriebenen Curve gegen die Sonne hin concav iſt. Die Ausweichungen der Erde auf jeder Seite der Ellipſe ſind insbeſondere ſo äußerſt gering, daß ſie ſich kaum erkennen laſſen. In der That liegt der Schwerpunkt der Erde und des Mondes beſtändig innerhalb der Oberfläche der erſtern, ſo daß die monatliche Bahn, welche der Mittelpunkt der Erde um jenen gemeinſchaftlichen Schwerpunkt beſchreibt, einen kleinern Raum umfaßt, als der Umfang der Erde ſelbſt. Deſſenungeachtet iſt die Wirkung davon merkbar, denn es entſteht daraus eine ſcheinbare monatliche Verrückung der Sonne in der Länge, welche parallactiſcher Art iſt und die monatliche Gleichung genannt wird. Der größte Betrag derſelben iſt indeſſen immer noch geringer, als die Horizontalparallaxe der Sonne, oder als 8,6 Sekunden.

452) Der Mond iſt, wie wir geſehen haben, etwa 60 Halbmeſſer der Erde vom Mittelpunkte der leztern entfernt. Der Abſtand deſſelben von ſeinem Anziehungsmittelpunkte iſt deßhalb, nach dieſem Verhältniß gerechnet, weit geringer, als der Abſtand der Planeten von dem ihrigen, indem Merkur, als der der Sonne nächſte Planet, ſchon 84, und Uranus 2026 Halbmeſſer der Sonne vom Mittelpunkte derſelben entfernt ſind. Wegen dieſer Nähe bleibt der Mond als ein Trabant an die Erde gefeſſelt. Wäre er beträchtlich weiter von uns entfernt, ſo würde die Anziehung der Erde zu ſchwach ſeyn, um, in der Bewegung des Mondes um die Sonne jene abwechſelnde Beſchleunigung und Verzögerung zu bewirken die ihm den Charakter eines unabhängigen Planeten nimmt, und ſeine Bewegungen denen der Erde unterwürfig macht. Es würde alsdann der eine der beiden Körper, bei ihren gemeinſchaftlichen Umläufen um die Sonne, dem andern, je nach den relativen Dimenſionen ihrer heliocentriſchen Bahnen, dem dritten Kepler'ſchen

Geſeze gemäs, entweder vorlaufen, oder hinter ihm zurückbleiben, und der ganze Einfluß der Erde würde ſich darauf beſchränken, in der Bewegung des Mondes eine beträchtliche periodiſche Störung hervorzubringen, ſo oft er, bei jedem ſynodiſchen Umlaufe, vor der Erde, oder die Erde vor ihm vorübergeht.

453) Bei der Entfernung, in welcher ſich der Mond wirklich von uns befindet, iſt ſeine Schwere gegen die Erde in der That geringer, als gegen die Sonne. Daß dieſes der Fall ſey, ergibt ſich ſchon zur Genüge aus der bereits angeführten Thatſache, daß die *wahre* Bahn des Mondes, ſelbſt wenn er ſich zwiſchen der Erde und der Sonne befindet, *gegen die leztere hin concav iſt.* Aber es wird ſich noch deutlicher ergeben, wenn wir aus den bekannten Umlaufszeiten, in denen die Erde ihre jährliche und der Mond ſeine monatliche Bahn vollenden, und aus den Dimenſionen dieſer Bahnen berechnen, um wie viel jede derſelben von ihrer Tangente in gleichen, ſehr kleinen Zeittheilchen, z. B. in einer Sekunde, abgelenkt wird. Dieſe Ablenkungen ſind die Querſinus der während dieſes Zeittheilchens in beiden Bahnen durchlaufenen Bögen; die Querſinus ſelbſt aber ſind das Maaß der wirkenden Kräfte, welche jene Ablenkungen hervorbringen.*) Wenn wir die nummeriſche Berechnung in dem vorliegenden Falle wirklich ausführen, ſo erhalten wir 2,209 zu 1 als das Verhältniß, in welchem die Intenſität der Kraft, die die Erde in ihrer Bahn um die Sonne erhält, diejenige übertrifft, durch welche der Mond in *ſeiner* Bahn um die Erde erhalten wird.

---

*) Wenn R und r die Halbmeſſer zweier Bahnen (die wir als kreisförmig annehmen,) P und p die Umlaufszeiten, in Sekunden ausgedrückt, bezeichnen, ſo verhalten ſich die fraglichen Bögen (A und a) zu einander, wie $\frac{R}{P}$ zu $\frac{r}{p}$; und da die Querſinus ſehr kleiner Bögen im direkten Verhältniſſe der Quadrate dieſer Bögen und im umgekehrten der Radien ſtehen, ſo verhalten ſie ſich zu einander wie $\frac{R}{P^2}$ zu $\frac{r}{p^2}$. Dieſes iſt demnach das Verhältniß der in den zwei Bahnen wirkenden Centralkräfte.

454) Nun iſt die Sonne 400mal weiter von der Erde entfernt, als der Mond. Und da die Schwere in dem Verhältniſſe zunimmt, in welchem die Quadrate der Entfernungen abnehmen, ſo folgt, daß, bei gleicher Entfernung, die Schwerkraft der Sonne diejenige der Erde in dem vorhin gefundenen, noch mit dem Quadrate von 400 multiplicirten Verhältniſſe übertrifft, d. h. in dem Verhältniſſe von 354936 zu 1. Wenn wir daher einräumen, daß bei gleichen Entfernungen die Intenſität der Schwerkraft proportional iſt der Maſſe oder der Trägheit des anziehenden Körpers, ſo müſſen wir hieraus folgern, daß die Maſſe der Erde nicht mehr, als $\frac{1}{354936}$ der Sonnenmaſſe ausmacht.

455) Dieſe Schlußfolgerung iſt in der That nur eine Wiederholung deſſen, was bereits im ſiebenten Kapitel (Art. 380) angeführt worden iſt. Wir ſind indeſſen hier wieder darauf zurückgekommen, um zu zeigen, wie die Maſſe eines Planeten, der von einem oder mehreren Satelliten umgeben iſt, gegen die Maſſe der Sonne ſo zu ſagen, abgewogen werden kann, ſo bald wir nur durch Beobachtung die Dimenſionen der Bahnen, welche der Planet um die Sonne, und die Satelliten um den Planeten beſchreiben, ſo wie die Umlaufszeiten kennen gelernt haben, in denen jede dieſer Bahnen zurückgelegt wird. Auf dieſe Weiſe ſind auch die Maſſen des Jupiter, Saturn und Uranus beſtimmt worden. (Siehe die Ueberſichtstabelle der Planetenelemente.)

456) Jupiter hat, wie bereits angegeben, vier Satelliten, Saturn deren ſieben, und Uranus gewiß zwei, vielleicht aber ſechs. Dieſe bilden mit ihren betreffenden Hauptplaneten (wie man die Planeten, um welche Trabanten kreiſen, zu nennen pflegt) beſondere, kleine Planetenſyſteme, die in den allgemeinen Geſezen, nach denen die Bewegungen derſelben ſtattfinden, dem großen Syſteme ganz analog ſind, in welchem die Sonne die Rolle des Hauptplaneten ſpielt, und die Planeten die Stelle der Satelliten vertreten. In jedem dieſer Syſteme gelten Kepler's Geſeze in dem Sinne, wie ſie im Plane-

tenſyſteme gelten, nämlich approximativ und unbeſchadet der Wirkungen gegenſeitiger Störung oder etwaiger äußerer Einflüſſe, ſo wie auch der zwar kleinen, aber doch nicht unmerklichen Correction, die von der elliptiſchen Geſtalt des Centralkörpers herrührt. Die Bahnen der Satelliten ſind Kreiſe, oder Ellipſen von ſehr mäßiger Excentricität, in deren einem Brennpunkte ſich der Hauptplanet befindet. Um dieſen beſchreiben ſie Flächenräume, die den Zeiten nahezu proportional ſind, und die Quadrate der Umlaufszeiten der zu einem jeden Planeten gehörenden Satelliten verhalten ſich, wie die Würfel ihrer mittleren Entfernungen von demſelben. Die Tafeln am Ende dieſes Werks geben eine Ueberſicht der Entfernungen und Umlaufszeiten in dieſen verſchiedenen Trabantenſyſtemen, in ſo weit ſie gegenwärtig bekannt ſind; und für alle gelten, hinſichtlich der Nähe der Satelliten bei ihrem Hauptplaneten, aus einem ganz ähnlichen Grunde dieſelben Bemerkungen, die wir oben, in Bezug auf die Nähe des Mondes bei der Erde, mitgetheilt haben.

457) Von dieſen Trabantenſyſtemen iſt indeſſen nur dasjenige des Jupiter mit großer Sorgfalt unterſucht und bearbeitet worden, ſowohl wegen der auffallenden Lichtſtärke ſeiner vier Trabanten, die eine hinreichende Größe beſitzen, um ſich in ſtark vergrößernden Fernröhren als meßbare Scheiben darzuſtellen, als auch insbeſondere wegen ihrer Verfinſterungen, welche ſehr häufig ſtattfinden und leicht zu beobachten ſind, und die man daher auch mit beträchtlichem Nutzen als Signale zu terreſtriſchen Längenbeſtimmungen gebraucht (Art. 218.) So lange dieſe Methode nicht durch die bei weitem größere Genauigkeit, welche heut zu Tage die Mondsbeobachtungen gewähren, (Art. 219.) in den Hintergrund gerieth, war ſie in der That die beſte, oder vielmehr die einzige, auf welche man ſich bei großen Diſtanzen und langen Zwiſchenzeiten verlaſſen konnte.

458) Die Trabanten des Jupiter laufen um dieſen, in der Richtung von Weſten nach Oſten (nach der Analogie der Planeten und unſers Mondes,) in Ebenen, die faſt genau mit der Aequatorebene des Planeten zuſam-

menfallen, oder den Streifen deſſelben nahezu parallel ſind. Der Aequator des Planeten iſt gegen die Ebene ſeiner Bahn um 3° 5′ 30″ geneigt, und er hat demnach auch nur eine geringe Neigung gegen die Ebene der Ekliptik. Die Bahnen der Trabanten projiciren ſich uns daher nahezu als gerade Linien, in denen ſie hin und her oſcilliren, wobei ſie zuweilen vor dem Jupiter vorübergehen und auf ſeine Scheibe einen Schatten werfen (der mit guten Fernröhren deutlich erkannt werden kann und ſich wie ein kleiner runder Tintenfleck ausnimmt,) zuweilen aber auch hinter dem Planeten verſchwinden, oder in einem gewiſſen Abſtande von ihm durch ſeinen Schatten verfinſtert werden. Dieſe Verfinſterungen ſind es, die uns genaue Data zur Conſtruktion von Tafeln der Bewegungen der Trabanten liefern, und uns als Signale zur Beſtimmung von Längendifferenzen dienen.

459) Die Verfinſterungen der Trabanten ſind, im Allgemeinen genommen, denen des Mondes völlig analog, aber im Einzelnen unterſcheiden ſie ſich von ihnen durch mehrere beſondere Umſtände. Wegen der weit größeren Entfernung des Jupiter von der Sonne und ſeines größern Volumens iſt auch der Kegel ſeines Kernſchattens (Art. 355) weit länger und von viel größerm Umfange, als derjenige der Erde. Außerdem ſind die Trabanten im Verhältniß zu ihrem Hauptplaneten weit kleiner, ihre Bahnen ſind gegen ſ e i n e Ekliptik weniger geneigt und vergleichungsweiſe von kleineren Dimenſionen, als es bei unſerem Monde der Fall iſt. Wegen dieſer Urſachen gehen die drei inneren Trabanten des Jupiter bei jedem Umlaufe derſelben durch ſeinen Schatten, und werden jedesmal gänzlich verfinſtert; und obgleich der vierte oder äußere Trabant wegen der größern Neigung ſeiner Bahn manchmal der Verfinſterung entgeht, und zuweilen den Rand des Schattens gewiſſermaßen ſtreifen und eine partielle Verfinſterung erfahren k a n n, ſo geſchieht dieſes doch vergleichungsweiſe nur ſelten, und man kann daher auch von ihm im Allgemeinen ſagen, daß er, gleich den übrigen, bei jedem Umlaufe verfinſtert wird.

460) Dieſe Verfinſterungen werden ferner, nicht, wie

es bei denen des Mondes der Fall iſt, aus dem Mittelpunkte der Bewegung der Trabanten geſehen, ſondern von einem entfernten Standpunkte aus, und zwar von einem ſolchen, deſſen Lage in Bezug auf die Schattenlinie veränderlich iſt. Dieſer Umſtand hat zwar keinen Einfluß auf die Zeiten der Verfinſterungen, einen ſehr großen aber auf ihre Sichtbarkeit überhaupt, und auf die ſcheinbaren Oerter, welche die Trabanten, bezüglich zu dem Planeten, in den Momenten einnehmen, wo ſie in den Schatten treten, oder ihn verlaſſen.

461) Es ſey S (Fig. 60) die Sonne, E die Erde in ihrer Bahn E F G K, J der Jupiter, und a b die Bahn eines ſeiner Trabanten. Der Schattenkegel wird alsdann ſeinen Scheitelpunkt in X haben, welcher Punkt weit jenſeits der Bahnen aller Trabanten liegt; und der Halbſchatten wird ſich wegen der großen Entfernung der Sonne und folglich des kleinen Winkels, den ihre Scheibe am Jupiter bildet, innerhalb der Grenzen der Trabantenbahnen kaum auf eine merkliche Entfernung über den Kernſchatten hinaus erſtrecken, aus welchem Grunde er in der Figur nicht angedeutet iſt. Ein Trabant, welcher von Weſten nach Oſten (in der Richtung der Pfeile) ſeine Bahn beſchreibt, wird verfinſtert, ſobald er bei a in den Schatten tritt, aber nicht plötzlich, weil er, gleich unſerm Monde, von dem Planeten aus geſehen, einen beträchtlichen Durchmeſſer hat; ſo daß die Zeit, von dem Augenblick an, wo der erſte bemerkbare Lichtverluſt eintritt, bis zum gänzlichen Erlöſchen deſſelben, diejenige iſt, welche der Trabant gebraucht, um in ſeiner Bahn um den Jupiter einen Winkel zu beſchreiben, der ſeinem ſcheinbaren Durchmeſſer, vom Mittelpunkte des Planeten aus geſehen, gleich, oder vielmehr wegen des Halbſchattens noch etwas größer iſt. Dieſelbe Bemerkung findet auch auf ſeine Emerſion bei b Anwendung. Nun iſt es, wegen der Verſchiedenheit der Fernröhre und der Augen, nicht möglich, genau den Augenblick der beginnenden Verdunkelung, oder des gänzlichen Erlöſchens bei a, und eben ſo wenig denjenigen des erſten Lichtſchimmers anzugeben, welcher bei b auf den Trabanten fällt, noch den der vollſtändigen Wiedererlangung ſeines Lichtes. Die

Beobachtung einer Verfinſterung, bei welcher nur die Immerſion, oder nur die Emerſion geſehen worden, iſt demnach unvollſtändig und nicht geeignet, um daraus eine genaue Folgerung für Theorie oder Praxis zu ziehen. Wenn aber ſowohl die Immerſion, als die Emerſion, mit demſelben Fernrohre und von derſelben Perſon beobachtet werden kann, dann gibt der Zwiſchenraum der Zeiten die Dauer, und das Mittel derſelben die genaue Mitte der Verfinſterung an, wo ſich der Trabant in der Linie S I X d. h. in dem eigentlichen Momente ſeiner Oppoſition mit der Sonne befand. Solche Beobachtungen, und nur ſolche, laſſen ſich theils benutzen, um die Umlaufszeiten und andere Eigenthümlichkeiten der Bewegungen der Trabanten zu beſtimmen, theils liefern ſie auch Angaben von materiellem Nutzen für die Berechnung terreſtriſcher Längen. Die Zwiſchenzeiten der Verfinſterungen geben, wie bemerkt werden muß, die ſynodiſchen Umlaufszeiten der Trabanten, woraus ihre ſyderiſchen Umlaufszeiten nach der in Art. 353 (Anmerkung) mitgetheilten Methode gefolgert werden müſſen.

462) Schon durch die bloße Anſicht der Figur wird es einleuchtend, daß die Verfinſterungen weſtlich vom Planeten ſtatt finden, wenn ſich die Erde auf der Weſtſeite der Linie S J befindet, d. h. vor der Oppoſition des Jupiter mit der Sonne, und öſtlich, wenn ſie ſich in der andern Hälfte ihrer Bahn befindet, oder nach der Oppoſition des Jupiter. Wenn ſich die Erde der Oppoſition nähert, ſo fällt die Geſichtslinie mit der Richtung des Schattens immer mehr und mehr zuſammen, und der ſcheinbare Ort, wo die Verfinſterungen ſtattfinden, wird dem Körper des Planeten beſtändig näher und näher rücken. Kommt die Erde nach F, welcher Punkt dadurch beſtimmt wird, daß man die Linie b F ſo zieht, daß ſie den Körper des Planeten berührt, ſo hören die Emerſionen auf, ſichtbar zu ſeyn, und ſie werden von jezt an bis zu dem Zeitpunkte, wo die Erde auf der andern Seite der Oppoſition den Punkt H erreicht hat, hinter der Scheibe des Planeten vor ſich gehen. Ebenſo werden die Immerſionen ſo lange unſichtbar

ſeyn, als ſich die Erde zwiſchen G und dem Punkte J befindet, der jenſeits der Oppoſitionslinie eben ſo weit von dieſer entfernt iſt, als der Punkt F dieſſeits derſelben. Wenn die Erde nach G (oder nach H) gelangt, ſo wird die Immerſion (oder die Emerſion) ganz am Rande der ſichtbaren Scheibe des Planeten ſtattfinden; und wenn ſie zwiſchen G und H (ein ſehr kleiner Raum) ſteht, ſo werden die Trabanten unverfinſtert hinter den Rand des Planeten treten.

463) Wenn der Trabant nach m gelangt, ſo wirft er ſeinen Schatten auf den Jupiter, und ſcheint ſich über ihn hin, wie ein ſchwarzer Fleck, zu bewegen, bis er nach n kommt. Aber der Trabant ſelbſt wird nicht eher in die Scheibe treten, als bis er die Linie erreicht, welche von E nach dem öſtlichen Rande der Scheibe gezogen wird, und er verläßt ſie nicht eher, als bis er eine ähnliche Linie erreicht, die man ſich an den weſtlichen Rand gezogen denkt. Hieraus folgt alſo, daß der Schatten dem Trabanten in ſeinem Wege über die Scheibe vor der Oppoſition vorangeht, und nach der Oppoſition ihm nachfolgt. Bei dieſen Vorübergängen der Trabanten, welche ſich durch ſehr gute Fernröhre mit großer Genauigkeit beobachten laſſen, tritt häufig der Fall ein, daß der Trabant ſelbſt als ein heller Fleck auf der Scheibe erkennbar iſt, wenn er auf einer dunkeln Zone projicirt erſcheint, manchmal aber auch als ein dunkeler Fleck von kleineren Dimenſionen, als der Schatten deſſelben. Dieſe intereſſante Thatſache, (welche von Schröter und Harding beobachtet worden iſt) hat zu dem Schluſſe geführt, daß einige Trabanten zuweilen auf ihren eigenen Körpern, oder in ihren Atmoſphären, ſehr ausgebreitete dunkele Flecke haben. Wir ſagen „ſehr ausgebreitete,“ weil die Trabanten des Jupiter, ſo klein ſie uns auch erſcheinen, in der That Körper von beträchtlicher Größe ſind, wie ſich aus der nachſtehenden vergleichenden Tafel ergibt.*)

---

*) Struve, Mem. Ast. Soc. III. Pag. 301.

	Mittlerer ſcheinbarer Durchmeſſer.	Durchmeſſer in engliſchen Meilen.	Maſſe.*)
Jupiter	38″,327	87000	1,0000000
1ſter Trabant	1,105	2508	0,0000173
2ter —	0,911	2068	0,0000232
3ter —	1,488	3377	0,0000885
4ter —	1,273	2890	0,0000427

464) Ein außerordentlich merkwürdiges Verhältniß beſteht zwiſchen den mittlern Winkelgeſchwindigkeiten oder den mittlern Bewegungen (wie man ſie zu nennen pflegt) der drei erſten Trabanten des Jupiter. Wenn die mittlere Winkelgeſchwindigkeit des erſten Trabanten zur doppelten mittleren Winkelgeſchwindigkeit des dritten addirt wird, ſo iſt die Summe der dreifachen mittleren Winkelgeſchwindigkeit des zweiten Trabanten gleich. Aus dieſem Verhältniſſe folgt, daß, wenn von der mittlern Länge des erſten Trabanten, addirt zur doppelten mittleren Länge des dritten, die dreifache mittlere Länge des zweiten Trabanten abgezogen wird, der Reſt ſich immer gleich oder conſtant bleibt, und aus den Beobachtungen wiſſen wir, daß dieſer conſtante Unterſchied 180° oder zwei rechte Winkel beträgt; ſo daß, wenn die Orte von zweien dieſer Trabanten gegeben ſind, derjenige des dritten ſich finden läßt. Man hat den Verſuch gemacht, dieſe merkwürdige Thatſache nach der Theorie der Schwere durch die gegenſeitige Einwirkung der Trabanten zu erklären. Eine merkwürdige Folge davon iſt, daß dieſe drei Trabanten nicht alle auf einmal verfinſtert werden können; denn nach dem eben erwähnten Längenverhältniſſe muß, wenn der zweite und dritte Trabant in derſelben Richtung vom Jupiters-Mittelpunkte aus liegen, der erſte ſich dieſem Punkte gegenüber befinden; und wenn deshalb der erſte verfinſtert wird, ſo müſſen die

*) Laplace, Mec. Cél. Lib. VIII. § 27.

beiden andern zwiſchen der Sonne und dem Planeten liegen und ihren Schatten auf deſſen Scheibe werfen, und umgekehrt. Nur ein einziger Fall (ſo viel uns bekannt iſt) wird erwähnt, in welchem Jupiter ohne Trabanten geſehen worden iſt, und zwar von Molyneux am 2ten November alten Styles 1681.*)

465) Die Entdeckung der Jupiters-Trabanten durch Galiläus, eine der erſten Früchte der Erfindung des Fernrohres, bildet eine der merkwürdigſten Epochen in der Geſchichte der Aſtronomie. Die erſte aſtronomiſche Löſung des großen Problemes der geographiſchen Längen, des wichtigſten für die Intereſſen des Menſchen, welches jemals unter die Herrſchaft ſtrenger, wiſſenſchaftlicher Grundſätze gebracht worden iſt, ſchreibt ſich unmittelbar von ihrer Entdeckung her. Die endliche und unwiderrufliche Annahme des Copernicaniſchen Syſtemes der Aſtronomie kann ebenfalls der Entdeckung und dem Studium dieſes auserleſenen kleinen Planetenſyſtemes mit zugeſchrieben werden, in welchem die Geſeze der Planetenbewegung, wie ſie Kepler beſtimmt hatte, und beſonders dasjenige, welches die Umlaufszeiten mit den Entfernungen in Zuſammenhang bringt, bald erkannt und auf die befriedigendſte Weiſe beſtätigt wurden. Endlich (gleichſam um auf dieſen Punkt hiſtoriſches Intereſſe zu häufen) verdanken wir der Beobachtung der Verfinſterungen der Jupiters-Trabanten die große Entdeckung der Abirrung des Lichtes, und die daraus folgende Beſtimmung der enormen Geſchwindigkeit dieſes wunderbaren Elementes. Dieſes wollen wir jezt ausführlich erläutern.

466) Da die Erdbahn mit derjenigen des Jupiter concentriſch iſt, und innerhalb der leztern liegt (ſiehe Fig. 60) ſo verändert ſich die gegenſeitige Entfernung beider Planeten beſtändig, und zwar von der Summe der Halbmeſſer der beiden Bahnen bis zur Differenz derſelben, und der Unterſchied der größten und kleinſten Entfernung iſt gleich dem Durchmeſſer der Erdbahn. Nun hat Römer (ein däniſcher Aſtronom) im Jahr 1675

*) Molyneux, Optics. Pag. 271.

die Bemerkung gemacht, als er Beobachtungen der Verfinſterungen der Trabanten in vielen auf einander folgenden Jahren mit einander verglich, daß die Verfinſterungen in der Nähe der Oppoſition des Jupiter (wo er der Erde am nächſten iſt) zu früh eintraten, d. h. früher, als er ſie in Folge einer Berechnung aller dieſer Beobachtungen nach einem mittlern Durchſchnitte erwartete; wogegen diejenigen, welche ſich um die Zeit ereigneten, wo die Erde in demjenigen Theile ihrer Bahn, der vom Jupiter am weiteſten entfernt war, ſich befand, immer zu ſpät eintraten. Indem er den beobachteten Fehler in den berechneten Zeiten derſelben mit der Veränderung der Entfernung in Verbindung brachte, gelangte er zu dem Schluſſe, daß, wenn die Berechnung nach einer Durchſchnittsperiode mit der wirklichen Erſcheinung übereinſtimmen ſolle, eine Zeitcorrection angebracht werden müſſe, welche dem Unterſchiede zwiſchen der jedesmaligen wirklichen Entfernung des Jupiter von der Erde und dem mittlern Betrage dieſer Entfernung proportional und zwar ſo beſchaffen ſeyn müſſe, daß eine Differenz der Entfernung von dem Betrage eines Durchmeſſers der Erdbahn einer Zeit von 16′ 26″, 6 entſpreche. Während er über die wahrſcheinliche phyſiſche Urſache nachdachte, wurde er auf den natürlichen Gedanken geleitet, daß das Licht nach und nach, und nicht augenblicklich, fortgepflanzt werde. Jeder einzelne Umſtand der beobachteten Erſcheinung erklärte ſich hierdurch, aber die erforderliche Geſchwindigkeit (192000 engliſche Meilen auf die Sekunde) war ſo groß, daß viele darüber erſchraken; jedenfalls bedurfte ſie erſt noch der Beſtätigung. Dieſe hat ſeitdem Bradley auf die unzweideutigſte Art durch ſeine Entdeckung der Abirrung des Lichtes gewährt (Art. 275.) Die aus dieſer lezten Erſcheinung gefolgerte Geſchwindigkeit des Lichtes differirt um weniger als 1/80 ihres Betrags von derjenigen, die man aus den Verfinſterungen der Jupiterstrabanten berechnet hat, und ſelbſt dieſe Differenz wird durch noch genauere und ſchärfer reducirte Beobachtungen ohne Zweifel gänzlich verſchwinden.

467) Die Bahnen der Jupiterstrabanten ſind nur wenig excentriſch, und diejenigen der beiden innern haben

in der That keine bemerkbare Excentricität; ihre gegenſeitige Anziehung bringt Störungen hervor, die denjenigen der Planeten bei ihrer Bewegung um die Sonne ganz analog ſind, und welche Laplace und Andere ſorgfältig unterſucht haben. Durch fleißige Beobachtung hat man gefunden, daß ſie merklichen Veränderungen hinſichtlich ihres Glanzes unterworfen ſind, und daß dieſe Veränderungen, je nach ihrem Stande zur Sonne, periodiſch eintreten. Daraus hat man, offenbar mit Grund, geſchloſſen, daß ſie ſich, wie unſer Mond, um ihre Axen drehen und zwar in Zeiten, welche ihren reſpektiven ſideriſchen Umläufen um ihren Hauptplaneten gleich ſind.

468) Die Trabanten des Saturn ſind weit weniger unterſucht worden, als diejenigen des Jupiter. Der entfernteſte von ihnen iſt bei weitem der größte und wahrſcheinlich nicht viel kleiner, als Mars. Seine Bahn hat überdieß eine merkliche Neigung gegen die Ebene des Ringes, mit welcher die Bahnen aller übrigen beinahe zuſammen fallen. Er iſt auch der einzige, in deſſen Theorie man tiefer eingedrungen iſt, und zwar mehr, als erfordert wird, um das Kepler'ſche Geſez der Umlaufszeiten zu beſtätigen, welches mutatis mutandis und unter den nöthigen Vorbehalten im Syſteme des Saturn eben ſo gut, wie in demjenigen des Jupiter, ſeine Gültigkeit behält. Dieſer Trabant läßt, gleich denen des Jupiter, periodiſche Abnahmen ſeines Lichtes bemerken, woraus ſich ſeine Axenumdrehung innerhalb der Zeit eines ſideriſchen Umlaufes um den Saturn ergiebt. Der folgende nach ihm (gegen den Planeten zu) iſt ziemlich deutlich zu erkennen; die drei nächſten ſind ſehr klein und erfordern, um geſehen zu werden, ſehr gute Fernröhre; während die zwei innern Trabanten, welche faſt den Rand des Ringes berühren und ſich genau in der Ebene deſſelben bewegen, nur mit den ſtärkſten Fernröhren, welche menſchliche Kunſt bis jezt vollendet hat, und ſelbſt dann nur unter beſondern Umſtänden erkannt worden ſind. Zur Zeit, wo der Ring (für gewöhnliche Fernröhre) verſchwindet, ſind ſie gleich Kügelchen erblickt worden, *) die

*) Von meinem Vater im Jahre 1789 mit einem Spiegeltelescop von 4 Fuß Oeffnung.

an dem faſt unendlich feinen Lichtfaden, auf welchen der Ring alsdann reducirt iſt, gleichſam angeſchnürt ſind, und ſich auf kurze Zeit von beiden Enden dieſes Fadens entfernen und ſchnell zurückkehren, um ſich auf's Neue, wie gewöhnlich, zu verbergen. Wegen der Schiefe des Ringes und der Trabantenbahnen gegen die Ekliptik Saturns finden keine Verfinſterungen der Trabanten ſtatt (mit Ausnahme der innern Trabanten,) als bis um die Zeit, wo man die Kante des Ringes ſieht.

469) Mit Ausnahme der beiden innern Trabanten des Saturn ſind die Nebenplaneten des Uranus unter allen Körpern unſeres Planetenſyſtemes am ſchwierigſten zu erkennen. Zwei Trabanten beſizt Uranus ohne Zweifel, und noch vier andere ſind vermuthet worden. Dieſe beiden bieten indeſſen merkwürdige und in der That ganz unerwartete und ungewöhnliche Eigenthümlichkeiten dar. Ganz gegen die Analogie, welche überall im Planetenſyſteme beſteht, ſowohl bei den Hauptplaneten, als bei den Nebenplaneten, ſtehen die Ebenen ihrer Bahnen beinahe ſenkrecht auf der Ekliptik, indem ſie nicht weniger als 78° 58′ gegen dieſe Ebene geneigt ſind, und in dieſen Bahnen ſind ihre Bewegungen rückläufig, d. h. wenn man die Orte, welche ſie im Raume einnehmen, auf die Ebene der Ekliptik projizirt, ſo bewegen ſich dieſelben um den Mittelpunkt des Hauptplaneten ſtatt von Weſten, nach Oſten, wie es bei jedem andern Planeten und Trabanten der Fall iſt, in der entgegengeſezten Richtung. Ihre Bahnen ſind beinahe, oder ganz kreisförmig, und ſie ſcheinen keine merkliche, oder wenigſtens keine raſche Bewegung in ihren Knoten zu beſitzen, auch keine weſentliche Veränderung in der Neigung, wenigſtens während eines halben Umlaufes ihres Hauptplaneten um die Sonne erfahren zu haben.*)

*) Dieſe anomalen Eigenthümlichkeiten, welche an den äußerſten Grenzen unſers Planetenſyſtems vorkommen, gleichſam um uns auf fernere Abweichungen von allen ſeinen Analogieen in andern noch zu entdeckenden Syſtemen vorzubereiten, haben bis jezt blos auf dem Zeugniſſe ihres Entdeckers beruht, dem es allein gelungen war, einen Anblick derſelben zu erlangen. Ich bin ſo glücklich geweſen, durch meine eigenen Beobachtungen vom Jahre 1828 bis auf die gegenwärtige Zeit, auf das Vollſtändigſte die Reſultate zu beſtätigen, welche mein Vater erhalten hat. — Der Verfaſſer.

Zehntes Kapitel.

Von den Kometen.

Große Anzahl der entdeckten Kometen. — Die Zahl der unentdeckten iſt wahrſcheinlich noch viel größer. — Beſchreibung eines Kometen. — Kometen ohne Schweife. — Zunahme und Abnahme ihrer Schweife. — Ihre Bewegungen. — Dieſelben ſind den allgemeinen Geſezen der planetariſchen Bewegung unterworfen. — Elemente ihrer Bahnen. — Periodiſche Wiederkehr gewiſſer Kometen. — Der Halley'ſche, Enke'ſche und Biela'ſche Komet. — Größe der Kometen. — Vom Widerſtande, den ſie in ihrer Bewegung vom Aether erleiden. — Von der allmähligen Verkleinerung der Kometen und ihrer möglichen Auflöſung im Weltraume.

470) Das außerordentliche Ausſehen der Kometen, ihre raſchen und ſcheinbar unregelmäßigen Bewegungen, die unerwartete Art, in der ſie oft ſich uns zeigen, und die impoſante Größe, welche ſie zuweilen beſitzen, haben zu allen Zeiten Erſtaunen erregt, nicht ohne Beimiſchung abergläubiſcher Furcht von Seiten des Unwiſſenden, wobei ſie ſelbſt den in die Wunder der Schöpfung und in die Wirkungen natürlicher Urſachen tief Eingeweihten ein Räthſel blieben. Sogar jezt, wo wir aufgehört haben, ihre Bewegung als unregelmäßig, oder von andern Geſezen abhängig zu betrachten, als denjenigen, welche die Planeten in ihren Bahnen erhalten, iſt ihre innere Natur, ſo wie die Rolle, welche ſie in der Oekonomie unſeres Sonnenſyſtemes ſpielen, noch ebenſo unbekannt, als jemals. Man hat bis jezt noch keinen genügenden, ja nicht einmal einen wahrſcheinlichen Grund für die unermeßlich voluminöſen Anhänge gegeben, welche ſie mit ſich ſchleppen, und die unter dem Namen ihrer Schweife bekannt ſind (obſchon uneigentlich ſo genannt, weil ſie

den Kometen in ihren Bewegungen oft vorangehen;) ebenſo wenig hat man mehrere andere Sonderbarkeiten erklärt, welche ſie darbieten.

471) Die Zahl der aſtronomiſch beobachteten Kometen, oder deren die Geſchichte Erwähnung gethan hat, iſt ſehr groß und beläuft ſich auf mehrere Hunderte;*) und wenn wir in Erwägung ziehen, daß in den frühern Zeiten der Aſtronomie, ja ſelbſt noch in ſpätern Zeiten vor der Erfindung des Fernrohres, nur große und glänzende Kometen bemerkt wurden, und daß ſeitdem man dieſem Gegenſtande gehörige Aufmerkſamkeit gewidmet hat, kaum ein Jahr vorübergegangen iſt, ohne daß einer oder zwei dieſer Himmelskörper beobachtet worden ſind, daß ferner manchmal zwei und ſelbſt drei auf einmal erſchienen ſind: ſo läßt ſich recht gut annehmen, daß ihre wirkliche Anzahl ſich wenigſtens auf mehrere Tauſende belaufen müſſe. Viele von ihnen entgehen aller Beobachtung, indem ſie nur denjenigen Theil des Himmels durchlaufen, welcher während des Tages über dem Horizonte iſt. Derartige Kometen können nur ſichtbar werden durch das ſeltene Zuſammentreffen mit einer totalen Sonnenfinſterniß. Ein ſolches Zuſammentreffen ereignete ſich, wie Seneca erzählt, 60 Jahre vor Chriſti Geburt, wo wirklich ein großer Komet in der Nähe der Sonne beobachtet wurde. Es werden indeſſen auch einige Kometen erwähnt, die einen ſolchen Glanz beſeſſen haben, daß man ſie den Tag über, ja ſogar des Mittags und bei hellem Sonnenſcheine ſehen konnte. In dieſe Kategorie gehören die Kometen von 1402 und 1532, auch derjenige, welcher kurz vor der Ermordung Cäſars erſchien, und der deſſen Tod, wie man nachher annahm, zum voraus angezeigt haben ſollte.

---

*) Siehe die Verzeichniſſe in dem Almagest Riccioli's in Pingré's Cometographia, in Delambre's Aſtronomie Vol. III. in Nro. 1 der Altonaer aſtronomiſchen Abhandlungen (wo man die Elemente aller Kometenbahnen findet, welche bis zum Jahr 1823 berechnet worden ſind;) ſodann auch ein Verzeichniß von T. J. Hussey in dem London and Edinburgh Philosophical Magazine Vol. II. Nro. 9 und ffg. In einem von Lalande angeführten Verzeichniſſe im 1ſten Bande der Berliner aſtronomiſchen Tafeln ſind 700 Kometen aufgezählt.

472) Daß die plözliche und unerwartete Erſcheinung eines großen Kometen Furcht und Schrecken erregt, iſt gar nicht zu verwundern, indem ein ſolcher in der That nach den Beſchreibungen, die wir von ſolchen Ereigniſſen beſitzen, eine der prächtigſten und impoſanteſten aller Naturerſcheinungen iſt. Die Kometen beſtehen meiſtentheils aus einer großen und glänzenden, aber nicht ſcharf begrenzten, nebelichten Lichtmaſſe, dem ſogenannten Kopf, welcher gewöhnlich gegen ſeinen Mittelpunkt hin noch weit glänzender iſt und einen funkelnden Kern zeigt, ähnlich einem Sterne oder Planeten. Von dem Kopfe, und in einer Richtung, derjenigen entgegengeſezt, in welcher vom Kometen aus die Sonne ſich befindet, ſieht man zwei Lichtſtröme auslaufen, welche in einiger Entfernung vom Kopfe immer breiter und verwaſchener werden, und die zuweilen in geringer Entfernung hinter ihm ſich ſchließen und vereinigen, zuweilen auch einen großen Theil ihres Laufes hindurch getrennt bleiben und einen Effekt hervorbringen, wie die Schweife, welche ein glänzendes Meteor oder eine ſteigende Rakete zurückläßt, nur ohne Funken und ohne eine bemerkbare Bewegung. Dieſes iſt der Schweif des Kometen. Dieſer prächtige Anhang erlangt zuweilen eine außerordentliche ſcheinbare Länge. Ariſtoteles erzählt von dem Schweife des Kometen im Jahre 371 vor Chriſti Geburt, daß er $1/3$ der Halbkugel oder 60^0 eingenommen habe; derjenige im Jahre 1618 unſerer Zeitrechnung ſoll einen Schweif von nicht weniger als 104^0 Länge gehabt haben. Der Komet vom Jahr 1680 der berühmteſte in neuern Zeiten, und in vielen Hinſichten der merkwürdigſte von allen, deſſen Kopf einen Stern zweiter Größe an Glanz nicht übertraf, bedeckte mit ſeinem Schweife am Himmel eine Strecke von mehr als 70^0, oder einigen Nachrichten zufolge ſogar von 90^0. Fig. 2. Taf. II. iſt eine ſehr treue Abbildung des Kometen von 1819, welcher keineswegs einer der anſehnlichſten war, doch aber der lezte, den man mit unbewaffneten Augen ſehr gut ſehen konnte.

473) Der Schweif iſt indeſſen keineswegs ein durchaus nothwendiger Anhang der Kometen. Man hat

manche ſehr glänzende Kometen geſehen, die nur kurze und ſchwache Schweife beſaßen, und nicht wenige ſind ganz ohne Schweif geweſen. Die Kometen vom Jahre 1585 und 1763 ließen nicht eine Spur von einem Schweiſe bemerken; und Caſſini ſagt in ſeiner Beſchreibung des Kometen vom Jahr 1682, daß er ſo rund und glänzend, wie Jupiter, geweſen ſey. Auf der andern Seite fehlt es nicht an Beiſpielen, daß Kometen mit mehrern Schweifen oder mit divergirenden Lichtſtreifen verſehen geweſen ſind. Derjenige vom Jahre 1744 beſaß nicht weniger als ſechs fächerförmig ausgebreitete Lichtſtreifen, die ſich auf eine Länge von beinahe 30° erſtreckten. Die Schweife der Kometen ſind auch oft gekrümmt, ſo daß ſie ſich in der Regel nach der Gegend hin biegen, welche der Komet verlaſſen hat, gleichſam als bewege ſich der Schweif etwas langſamer, oder als finde er in ſeinem Laufe Wiederſtand.

474) Die kleinern Kometen, ſolche, welche nur mit Fernröhren, oder ſchwer mit unbewaffnetem Auge erkannt werden können, und die bei weitem die zahlreichſten ſind, zeigen ſehr häufig keine Spur von einem Schweife und erſcheinen nur als runde oder etwas ovale Dunſtmaſſen, welche gegen den Mittelpunkt hin dichter ſind, wo ſie indeſſen keinen beſtimmten Kern haben, oder ſonſt etwas, was man als einen feſten Körper betrachten könnte. Sterne von der geringſten Größe bleiben deutlich ſichtbar, wenn ſie auch von demjenigen Theile des Kometen bedeckt werden, welcher als der dichteſte erſcheint; obſchon dieſelben Sterne durch einen mäßigen Nebel, der ſich nur einige Ellen hoch über die Oberfläche der Erde verbreitet, ganz unſichtbar werden. Und da es eine beobachtete Thatſache iſt, daß ſelbſt die größeren Kometen, bei welchen man einen Kern wahrgenommen hat, keine Phaſen gezeigt haben, obſchon wir nicht bezweifeln dürfen, daß ſie durch reflectirtes Sonnenlicht glänzen, ſo folgt daraus, daß man ſelbſt dieſe nur als große Maſſen dünnen Dunſtes betrachten kann, durch welchen die Sonnenſtrahlen durchzudringen vermögen, die alsdann ſowohl von den innern Theilen, als von der Oberfläche reflectirt werden. Es möchte wohl ſchwerlich Jemand dieſe Er-

klärung als eine gezwungene betrachten, oder geneigt ſeyn, zu einer phosphorescirenden Eigenſchaft des Kometen ſelbſt ſeine Zuflucht zu nehmen, um die fragliche Erſcheinung zu erklären, wenn wir die enorme Größe des Raumes, der auf dieſe Weiſe erleuchtet wird, in nähere Betrachtung ziehen, (wovon nachher die Rede ſeyn wird) und dabei die außerordentlich kleine Maſſe, welche man dieſen Körpern zuzuſchreiben allen Grund hat. Es wird ſich dann ergeben, daß die dünnſten Wolken, welche in den höchſten Regionen unſerer Atmoſphäre ſchweben, und bei Sonnenuntergang ganz in Licht getaucht zu ſeyn und durch und durch zu glühen ſcheinen, ohne irgend einen Schatten oder dunkele Stellen zu beſitzen, im Vergleiche mit der flüchtigen und beinahe geiſtigen Subſtanz eines Kometen, als dichte und maſſive Körper angeſehen werden müſſen. So oft man dieſe Himmelskörper mit guten Fernröhren betrachtete, verſchwand auch jedesmal die Täuſchung, die dem mehr verdichteten Theile des Kopfes, welcher dem unbewaffneten Auge als ein Kern erſcheint, Feſtigkeit zuſchreibt. Es iſt indeſſen allerdings wahr, daß man bei einigen einen ſehr kleinen ſternartigen Punkt bemerkt hat, welcher die Exiſtenz eines feſten Körpers anzeigt.

475) Aller Wahrſcheinlichkeit nach müſſen wir dieſe außerordentliche Ausdehnung der Atmoſphären der Kometen der ſchwachen Einſchränkung zuſchreiben, welche die Anziehungskraft einer ſo kleinen Centralmaſſe der Elaſticität ihrer gasartigen Theile entgegenſezt. Wenn die Erde mit Beibehaltung ihrer gegenwärtigen Größe durch eine innere Veränderung (z. B. durch Aushöhlung ihrer Centraltheile) auf den tauſendſten Theil ihrer jezigen Maſſe reducirt würde, ſo würde die Beſchränkungskraft, welche ſie auf die Atmoſphäre ausübt, in demſelben Verhältniſſe vermindert werden, und die Atmoſphäre würde folglich ein tauſendmal größeres Volumen, als ihr jeziges iſt, annehmen, ja ſogar ein noch weit größeres, weil durch die größere Entfernung ihrer obern Theile vom Mittelpunkte die Schwere noch viel mehr abnehmen müßte.

476) Daß der leuchtende Theil eines Kometen etwas

von der Natur eines Rauches, eines Nebels, oder einer Wolke beſitze, die in einer durchſichtigen Atmosphäre ſchwebt, iſt außer Zweifel geſezt durch eine oft beobachtete Thatſache, die nämlich, daß der Theil des Schweifes der dem Kopfe zunächſt liegt und ihn umgibt, von demſelben dennoch durch einen weniger hellen Zwiſchenraum abgeſondert iſt, gleichſam als ob er von einer durchſichtigen Schicht getragen und von der Berührung abgehalten würde, ſo wie wir oft auch eine Schicht Wolken über einer andern mit einem beträchtlichen hellen Zwiſchenraume erblicken. Dieſe und viele andere Thatſachen, welche an den Kometen beobachtet worden ſind, ſcheinen anzuzeigen, daß die Struktur eines Kometen diejenige einer hohlen Hülle von paraboliſcher Form ſeyn müſſe, welche an ihrem Scheitel den Kern und den Kopf einſchließt, ungefähr ſo, wie ſolches in Fig. 61 im Durchſchnitte der Länge nach dargeſtellt iſt. Daraus erklärt ſich die ſcheinbare Theilung des Schweifes in zwei Hauptſeitenzweige, indem die Geſichtslinie nach den beiden Rändern der Hülle eine ſchräge Richtung auf dieſe hat, und demnach eine größere Dicke der erleuchteten Subſtanz hier dem Auge exponirt iſt. Es iſt übrigens ſehr wahrſcheinlich, daß eine große Verſchiedenheit in der Struktur der Kometen ſtattfindet, und es können ſich unter ihnen möglicher Weiſe Körper von ganz verſchiedenartiger phyſiſcher Beſchaffenheit befinden.

477) Wir kommen nun zu den Bewegungen der Kometen. Dieſe ſind ſcheinbar höchſt unregelmäßig und wunderlich. Manchmal bleiben die Kometen nur wenige Tage ſichtbar, und ein andermal mehrere Monate hindurch. Manche bewegen ſich äußerſt langſam, andere außerordentlich geſchwind, während nicht ſelten die beiden Extreme ſcheinbarer Geſchwindigkeit an einem und demſelben Kometen in verſchiedenen Theilen ſeiner Bahn beobachtet werden. Der Komet vom Jahre 1472 beſchrieb in einem einzigen Tage einen Bogen von 120° am Himmel. Manche ſind rechtläufig, manche rückläufig, und wieder andere haben einen gewundenen und äußerſt unregelmäßigen Lauf; auch beſchränken ſie ſich nicht, wie die Planeten, auf eine gewiſſe Gegend des Himmels,

ſondern ſie durchlaufen ohne Unterſchied jeden Theil deſſelben. Die Veränderungen ihrer ſcheinbaren Größe während der Zeit ihrer Sichtbarkeit ſind eben ſo merkwürdig, als diejenigen ihrer Geſchwindigkeit. Manchmal erſcheinen ſie zuerſt als matt leuchtende und langſam ſich bewegende Himmelskörper mit wenig oder gar keinem Schweif; aber nach und nach wird ihre Bewegung beſchleunigt, ſie nehmen an Größe zu und ſtoßen jenen Anhang aus, welcher an Länge und Licht zunimmt, bis ſie (was in ſolchen Fällen immer geſchieht) ſich der Sonne nähern und in ihren Strahlen verſchwinden. Nach einiger Zeit treten ſie auf der andern Seite wieder aus denſelben hervor, und entfernen ſich von der Sonne mit einer anfangs großen, allmählig aber abnehmenden Geſchwindigkeit. Nachdem ſie ſo bei der Sonne vorübergegangen ſind, und nicht eher, glänzen ſie im hellſten Lichte, und ihr Schweif erlangt die größte Länge und Entwickelung, woraus ſich klar ergibt, daß die Sonnenſtrahlen die veranlaſſende Urſache dieſer außerordentlichen Emanation ſind. Je weiter ſie ſich von der Sonne entfernen, deſto mehr nimmt ihre Bewegung ab, und der Schweif verliert ſich, oder wird vom Kopfe abſorbirt, der ſelbſt immer mehr an Glanz abnimmt und endlich ganz verſchwindet, um, in der bei weitem größern Zahl von Fällen, niemals wieder geſehen zu werden.

478) Ohne den Leitfaden, den uns das Geſez der Gravitation in die Hand gegeben hat, möchte vielleicht das Räthſel dieſer ſcheinbar unregelmäßigen und wunderlichen Bewegung für immer ungelöſet geblieben ſeyn. Nachdem aber N e w t o n die Möglichkeit gezeigt hatte, daß ein Körper, welcher unter der Herrſchaft dieſes Geſezes um die Sonne läuft, j e d e n Kegelſchnitt um dieſelbe beſchreiben könne, ſah er auch ſogleich die Anwendbarkeit des allgemeinen Sazes auf den Fall der Kometenbahnen ein; und der große Komet des Jahres 1680, einer der merkwürdigſten in der Geſchichte, ſowohl wegen der außerordentlichen Länge ſeines Schweifes, als auch wegen ſeiner großen Annäherung an die Sonne (er näherte ſich ihr bis auf $1/6$ ihres Durchmeſſers,) bot ihm eine treffliche Gelegenheit dar, ſeine Theorie zu prüfen.

Der Erfolg dieſes Verſuchs war vollkommen. Er fand, daß dieſer Komet um die Sonne, als den einen Brennpunkt, eine Ellipſe von ſo großer Excentricität beſchrieb, daß man dieſelbe von einer Parabel nicht unterſcheiden konnte (welche Curve die äußerſte Form oder die Grenze der Ellipſe iſt, wenn die Axe derſelben unendlich groß wird,) und daß in dieſer Bahn die um die Sonne beſchriebenen Flächenräume, wie in den elliptiſchen Bahnen der Planeten, den Zeiten proportional waren. Die Darſtellung der ſcheinbaren Bewegungen dieſes Kometen durch eine ſolche Bahn ergab ſich, während ſeines ganzen beobachteten Laufes, als eben ſo vollſtändig, wie die Darſtellung der Bewegungen der Planeten durch beinahe kreisförmige Bahnen. Von dieſer Zeit an galt es als eine allgemein angenommene Wahrheit, daß die Bewegungen der Kometen ſich nach denſelben allgemeinen Geſezen richten, wie diejenigen der Planeten, — indem der Unterſchied nur in der außerordentlichen Verlängerung ihrer Ellipſen und in dem Mangel einer Grenze für die Neigung ihrer Bahnen gegen die Ebene der Ekliptik beſieht, — und daß auch die Richtung ihrer Bewegungen im Allgemeinen mehr von Weſten nach Oſten, als von Oſten nach Weſten geht, wie dieſes bei den Planeten der Fall iſt.

479) Es iſt eine rein geometriſche Aufgabe, aus den allgemeinen Geſezen der elliptiſchen oder paraboliſchen Bewegung die Lage und die Dimenſionen der Ellipſe oder Parabel zu finden, welche die Bewegung irgend eines gegebenen Kometen darſtellen ſoll. In der Regel ſind drei vollſtändige Beobachtungen ſeiner geraden Aufſteigung und Abweichung nebſt den Zeiten, zu welchen ſie angeſtellt wurden, für die Löſung dieſer Aufgabe (die indeſſen eine ſehr ſchwierige iſt) und für die Beſtimmung der Elemente der Bahn ausreichend. Leztere beſtehen, mutatis mutandis aus denſelben Angaben, welche für die Berechnung der Bewegung eines Planeten erforderlich ſind; und ſind dieſe Elemente einmal beſtimmt, ſo iſt es ſehr leicht, ſie mit dem ganzen beobachteten Laufe des Kometen durch ein Verfahren, welches demjenigen des Art. 426 ganz ähnlich iſt, zu vergleichen, auf dieſe Art

ihre Richtigkeit zu prüfen und ſolchergeſtalt die Wahrheit dieſer allgemeinen Geſeze, auf welche alle dergleichen Berechnungen gegründet ſind, der ſtrengſten Probe zu unterwerfen.

480) Meiſtentheils laſſen ſich, wie man gefunden hat, die Bewegungen der Kometen hinreichend gut durch paraboliſche Bahnen darſtellen, d. h. durch Ellipſen, deren Axen von unendlicher Länge, oder doch wenigſtens ſo außerordentlich lang ſind, daß kein merklicher Fehler in der Berechnung ihrer Bewegungen während der ganzen Zeit ihrer Sichtbarkeit dadurch entſteht, daß man die Axen ihrer Bahnen wirklich als unendlich groß annimmt. Die Parabel iſt derjenige Kegelſchnitt, welcher die Grenze zwiſchen der in ſich zurücklaufenden Ellipſe auf der einen Seite, und der Hyperbel, die ins Unendliche ausläuft, auf der andern Seite bildet. Ein Komet alſo, welcher eine elliptiſche Bahn beſchreibt, wie lang auch ihre Axe ſeyn möge, muß früher die Sonne beſucht haben, und muß zu ihr in einer beſtimmten Zeit (wenn er keine Störung erfährt) wieder zurückkehren. Sollte aber ſeine Bahn von hyperboliſcher Natur ſeyn, ſo kann er, nachdem er einmal ſein Perihelium paſſirt hat, nie wieder in den Bereich unſerer Beobachtung zurückkehren, ſondern er muß andere Sonnenſyſteme beſuchen, oder ſich im unermeßlichen Raume verlieren. Von einigen wenigen Kometen iſt dargethan worden, daß ſie ſich in hyperboliſchen Bahnen bewegen; aber weit mehrere beſchreiben Ellipſen, und dieſe müſſen wir, in ſo weit ihre Bahnen durch die Anziehungen der Planeten nicht verändert werden, als bleibende Glieder unſeres Sonnenſyſtems betrachten.

481) Der merkwürdigſte unter dieſen iſt der Halley'ſche Komet, ſo genannt von dem berühmten Edmund Halley, welcher, als er die Elemente deſſelben aus den Beobachtungen zur Zeit ſeines Durchgangs durchs Perihelium im Jahre 1682 berechnete, wo dieſer Komet in großem Glanze mit einem Schweife von 30° Länge erſchien, Veranlaſſung fand, ihn für identiſch zu halten mit den großen Kometen der Jahre 1531 und 1607, deren Elemente er ebenfalls beſtimmt hatte. Da die Zwi-

ſchenräume dieſer aufeinander folgenden Erſcheinungen 75 und 76 Jahre betrugen, ſo wurde Halley dadurch beſtärkt, das Wiedererſcheinen dieſes Kometen gegen das Jahr 1759 vorauszuſagen. Eine ſo merkwürdige Vorherſage mußte unfehlbar die Aufmerkſamkeit aller Aſtronomen erregen, und als die Zeit herannahte, wurde es äußerſt intereſſant, zu erfahren, ob die Anziehungen der größern Planeten nicht weſentlich ſtörend auf die Bewegung des Kometen in ſeiner Bahn einwirken möchten. Es wurde die Berechnung ihrer Einwirkung nach Newton's Geſez der Schwere, eine höchſt ſchwierige und verwickelte Aufgabe, — begonnen und ausgeführt von Clairaut, welcher fand, daß die Wirkung des Saturn die Rückkehr des Kometen um 100 Tage und diejenige des Jupiter um nicht weniger als 518 Tage, alſo im Ganzen um 618 Tage verzögern müſſe, weshalb die erwartete Rückkehr deſſelben ſpäter erfolgen werde, als unter der Annahme, daß er eine unveränderte Umlaufszeit beibehalte, — und daß mit einem Worte der erwartete Durchgang durch ſeine Sonnennähe innerhalb eines Monats vor oder nach der Mitte des April 1759 ſtattfinden werde.

Er fand wirklich in dieſem Jahre am 12. März ſtatt. Die nächſte Rückkehr dieſes Kometen zu ſeiner Sonnennähe iſt von den Herren Damoiseau, Pontécoulant und Rosenberger berechnet und von dem erſtgenannten Aſtronomen auf den 4ten, von dem zweiten auf den 7ten und vom dritten auf den 12ten November des Jahres 1835 beſtimmt worden; *) zwei bis drei Monate vor dieſer Zeit

---

*) Anmerkung. Der Durchgang durch die Sonnennähe iſt wirklich erfolgt am 16ten November 1835, wenige Minuten vor Mittag. — Um die Mitte Oktobers erſchien der Komet am größten; ſein Schweif hatte eine Länge von 16 bis 20 Graden, war aber dabei ſehr blaß. Man würde indeſſen hieraus mit Unrecht ſchließen, daß der Komet abermals an Größe und äußerlichem Anſehn abgenommen habe, wie denn überhaupt die Behauptung einer allmähligen, wirklichen Abnahme dieſes Kometen bei ſeinen jedesmaligen Wiedererſcheinungen durchaus nicht gehörig begründet iſt. Der ſcheinbare Glanz eines und deſſelben Kometen hängt ganz beſonders von ſeiner gleichzeitigen günſtigen Stellung zur Sonne und zur Erde ab. Findet die eine ohne die andere ſtatt, ſo wird der Komet immer

wird er ſchon für unſere Halbkugel ſichtbar ſeyn. Da er der Erde ſehr nahe kommen wird, ſo wird er ſich wahrſcheinlich in großem Glanze zeigen, obſchon, nach den ſucceſſiven Abnahmen ſeiner ſcheinbaren Größe und der Länge ſeines Schweifes bei jeder Rückkehr ſeit ſeinem erſten Erſcheinen (1305, 1456 u. ſ. w.) zu urtheilen, wir jezt nicht dieſe außerordentlichen und fürchterlichen Erſcheinungen zu erwarten haben, welche unſere Vorfahren

---

ein unbedeutenderes Anſehn haben, als wenn beide, wenigſtens ziemlich nahe, zuſammentreffen. Der Halley'ſche Komet war dieſesmal der Erde am 12ten Oktober am nächſten, d. h. zu einer Zeit, wo er noch über einen Monat von ſeiner Sonnennähe, in oder unmittelbar nach welcher das Licht deſſelben, abſolut genommen, ſeine größte Intenſität hat, entfernt war; kein Wunder alſo, daß er ungeachtet ſeiner großen Erdnähe um dieſe Zeit ſich doch ſehr blaß zeigte. Bei ſeiner Sonnennähe um die Mitte Novembers war er dagegen ſchon wieder viel weiter, als die Sonne von uns entfernt, und konnte daher nur noch ſehr klein erſcheinen, um ſo mehr, da er um dieſe Zeit nicht mehr anders, als kurz vor ſeinem Untergange in der Abenddämmerung geſehen werden konnte. Wären aber beide Momente, die Erdnähe und die Sonnennähe, nahe zuſammengetroffen, ſo würde der Komet unſtreitig ſehr prachtvoll erſchienen und gewiß Nichts zu bemerken geweſen ſeyn, woraus man mit Recht eine wirkliche Abnahme des Kometen hätte folgern können. Ein ſolches Zuſammentreffen der Erdnähe mit der Sonnennähe kann vermöge der Lage des Periheliums des Halley'ſchen Kometen nur dann erfolgen, wenn derſelbe ſein Perihelium gegen Ende des Monats Julius erreicht. Sollte bei ſeinen künftigen Wiedererſcheinungen ſich dieſer Fall einmal ereignen, ſo würde er, ungeachtet er dabei nicht diejenige große Erdnähe erreicht, die er gegen die Mitte Oktobers 1835 hatte, doch einige Zeit hindurch ein ſehr prachtvolles Schauſpiel am nördlichen Himmel darbieten. — Es iſt auch kein triftiger theoretiſcher Grund für eine wirkliche Abnahme der periodiſch wiederkehrenden Kometen vorhanden. Denn gibt man auch wirklich zu, daß die ſchwache Anziehung der Kometen die von ihnen um die Zeit ihres Periheliums durch die Wirkung der Sonne ausſtrömenden Stoffe, welche den Schweif bilden, nicht wieder zu ſammeln vermöge, ſo iſt es eben ſo leicht möglich, daß ſie auf ihrer nachherigen weiten Reiſe im Weltraume ähnliche Stoffe ſich wieder aneignen, und ſo den beim Durchgange durch das Perihelium erlittenen Verluſt vollkommen wieder erſezen können. — Ueber manche einzelne Merkwürdigkeiten, welche der Halley'ſche Komet bei ſeiner lezten Erſcheinung gezeigt hat, ſehe man ein Mehreres in verſchiedenen Nummern des 13ten Bandes der Schuhmacher'ſchen aſtronomiſchen Nachrichten.

N.

im Mittelalter in Angſt und abergläubiſchen Schrecken verſezten, ſo daß man in den Kirchen öffentliche Gebete veranſtaltete gegen den Kometen und ſeinen feindſeligen Einfluß.

482) In neuerer Zeit iſt die periodiſche Wiederkehr von zwei andern Kometen nachgewieſen worden, welche ſchon mehrmals ihre Bahn um die Sonne vollendet haben, und nicht allein bei frühern Umläufen beobachtet worden ſind, ohne daß man noch dieſe merkwürdige Eigenſchaft kannte, ſondern von denen man auch bereits mehrmals die Rückkehr vorausgeſagt hat, die immer ſehr genau eingetroffen iſt. Der erſte von dieſen iſt der Encke'ſche Komet, ſo genannt vom Prof. Encke in Berlin, welcher zuerſt die periodiſche Wiederkehr deſſelben beſtimmte. Seine Bahn iſt eine Ellipſe, von großer Excentricität, die unter einem Winkel von etwa 13° 22′ gegen die Ebene der Ekliptik geneigt iſt, und er durchläuft ſie in der kurzen Zeit von 1207 Tagen, oder in etwa 3⅓ Jahren. Dieſe merkwürdige Entdeckung wurde gemacht, als er zum viertenmal im Jahre 1819 erſchienen war. Nachdem Encke nunmehr ſeine Ellipſe berechnet hatte, ſagte er die Rückkehr deſſelben für das Jahr 1822 voraus, welche, da er in Europa unſichtbar war, zu Paramatta in Neu-Süd-Wales von Hrn. Rümker beobachtet worden iſt. Seit der Zeit iſt er wieder vorausgeſagt und auf allen Hauptſternwarten in der nördlichen und in der ſüdlichen Hemiſphäre in den Jahren 1825, 1828, 1832 und 1835 beobachtet worden. Seine nächſte Rückkehr wird im Jahre 1838 ſtattfinden.

483) Als man die Zeiträume zwiſchen den ſucceſiſven Durchgängen dieſes Kometen durchs Perihelium verglich, nachdem man zuvor auf die ſorgfältigſte und genaueſte Art alle Störungen in Rechnung gebracht hatte, welche von den Wirkungen der Planeten herrühren, zeigte ſich eine ſehr merkwürdige Thatſache, nämlich die, daß die Umlaufszeiten beſtändig kleiner werden, oder mit andern Worten, daß die mittlere Entfernung des Kometen von der Sonne, oder die große Axe der Ellipſe, langſam, aber regelmäßig abnimmt. Dieſes iſt offenbar die Wirkung, welche durch einen Wiederſtand hervorgebracht werden

würde, den ein im Weltraume verbreiteter, ſehr dünner Aether der Bewegung des Kometen entgegenſezt; denn indem ein ſolcher Widerſtand die wirkliche Geſchwindigkeit des Kometen vermindert, ſchwächt er auch ſeine Centrifugalkraft und räumt dadurch der Sonne mehr Kraft ein, ihn näher an ſich zu ziehen. Da ſich die fragliche Erſcheinung nicht wohl auf andere Art erklären läßt, ſo hat Encke dieſe Hypotheſe aufgeſtellt, die auch allgemein angenommen wird. Der Komet wird deshalb vermuthlich zulezt in die Sonne ſtürzen, wenn er nicht zuvor ſich gänzlich auflöſet, was keineswegs unwahrſcheinlich iſt, wenn man die Leichtigkeit ſeiner Stoffe erwägt und die beobachtete Thatſache in Anſchlag bringt, daß er bei jeder Rückkehr immer mehr und mehr an Licht verloren hat.

484) Der andere Komet von kurzer Umlaufszeit, den man in neuerer Zeit entdeckt hat, iſt der Biela'ſche, ſo genannt von Herrn Biela zu Joſephſtadt, der zuerſt dieſe Umlaufszeit beſtimmte. Er iſt identiſch mit den Kometen, welche 1789, 1795 u. ſ. w. erſchienen ſind, und beſchreibt ſeine mäßig excentriſche Ellipſe um die Sonne in 6¾ Jahren; und da die lezte Erſcheinung deſſelben, der Vorausſage zufolge, im Jahre 1832 wirklich ſtattgefunden hat, ſo wird die nächſte im Jahre 1839 ſtattfinden. Er iſt ein kleiner, unbedeutender Komet ohne Schweif und ohne die geringſte Spur eines feſten Kerns. Durch einen merkwürdigen Zufall ſchneidet ſeine Bahn beinahe diejenige der Erde; und wäre die Erde, zur Zeit ſeines Erſcheinens im Jahre 1832 in ihrer Bahn um einen Monat weiter geweſen, als ſie wirklich war, ſo würde ſie durch den Kometen gegangen ſeyn, — ein ſeltſames Zuſammentreffen, das vielleicht nicht ohne Gefahr geweſen wäre.*)

*) Sollte ſich durch Rechnung ergeben, daß auch dieſer Komet einen Widerſtand erfährt, ſo würde die Lehre von den periodiſchen Kometen noch einen ganz beſondern Grad von Intereſſe gewinnen. Es unterliegt keinem Zweifel, daß noch mehrere andere werden entdeckt werden; die Geſeze ihres Widerſtandes können alsdann dazu dienen, Fragen, wie die nachſtehenden, zu entſcheiden: — Welches iſt das Geſez der Dichtigkeit des widerſtehenden Mittels, das die Sonne umgibt? Befindet es ſich im Zuſtande der Ruhe, oder in Bewegung? Wenn lezteres der Fall iſt, in

485) Indem die Kometen mitunter nahe bei den Planeten vorübergehen, werden ſie merklich aus ihren Bahnen gezogen, und in manchen Fällen haben ſie dadurch ihren Lauf gänzlich verändert. Namentlich geſchieht dieſes durch den Jupiter, welcher durch ein ſonderbares Geſchick ihnen ſtets im Wege zu ſtehen und für ſie ein beſtändiger Stein des Anſtoßes zu ſeyn ſcheint. Bei dem merkwürdigen Kometen vom Jahre 1770, welcher, wie Lexell gefunden hatte, eine mäßige Ellipſe von etwa 5 Jahren Umlaufszeit beſchrieb, und deſſen Wiederkehr dem gemäß von ihm vorhergeſagt worden war, traf dieſe Vorherſage nicht ein, weil dieſer Komet wirklich durch das Trabantenſyſtem des Jupiter gegangen war und, durch die Anziehung dieſes mächtigen Planeten ganz aus ſeiner Bahn gezogen, eine weit größere Ellipſe zu beſchreiben gezwungen wurde. Durch dieſes außerordentliche Zuſammentreffen erfuhren die Bewegungen der Trabanten auch nicht die geringſte merkbare Störung, — ein hinlänglicher Beweis von der Geringfügigkeit der Maſſe des Kometen.

486) Es ſind nun noch einige Worte über die wirklichen Dimenſionen der Kometen zu ſagen. Die Berechnung der Durchmeſſer ihrer Köpfe, ſo wie der Längen und Breiten ihrer Schweife, bietet nicht die geringſte Schwierigkeit dar, ſobald die Elemente ihrer Bahnen bekannt ſind; denn durch dieſe erfahren wir für jedes Zeit-

---

welcher Richtung bewegt es ſich? Im Kreiſe um die Sonne, oder den Raum durchkreuzend? Bewegt es ſich im Kreiſe, ſo fragt ſichs weiter, in welcher Ebene? Es iſt einleuchtend, daß eine Kreis- oder Wirbel-Bewegung des Aethers die Bewegung einiger Kometen beſchleunigen, anderer dagegen verzögern müſſe, je nachdem ihr Lauf, bezüglich auf eine ſolche Bewegung, direkt oder retrograd iſt.

Nimmt man an, daß der die Sonne zunächſt umgebende Raum mit einer materiellen Flüſſigkeit angefüllt ſey, ſo iſt nicht begreiflich, daß die Bewegung der Planeten in derſelben, Jahrhunderte hindurch ihr nicht einen Grad der Umdrehung in der Richtung des Planetenlaufs mitgetheilt haben ſollte. Und dieſes kann vielleicht die Planeten gegen die äußerſten Wirkungen eines ſich anhäufenden Widerſtandes ſicher ſtellen.

Der Verfaſſer.

moment ihre wahren Entfernungen von der Erde und die wahre Richtung des Schweifes, den wir nur perſpektiviſch verkürzt ſehen. Nach dieſen Grundſätzen angeſtellte Berechnungen ergeben nun das überraſchende Reſultat, daß die Kometen bei weitem die voluminöſeſten Körper in unſerem Sonnenſyſteme ſind. Folgendes ſind die Dimenſionen einiger von den Kometen, welche der Gegenſtand einer ſolchen Unterſuchung geweſen ſind.

487) Der Schweif des großen Kometen vom Jahre 1680 beſaß, wie Newton gefunden hat, unmittelbar nach ſeinem Durchgange durchs Perihelium eine Länge von 20 Millionen franzöſiſcher Meilen, (lieues) und dieſer Schweif war binnen zwei Tagen aus dem Körper des Kometen hervorgetreten! ein entſcheidender Beweis, daß er in Folge einer außerordentlich wirkſamen Kraft entſtanden ſey, deren Urſprung wir, nach der Richtung des Schweifes zu urtheilen, in der Sonne ſelbſt ſuchen müſſen. Seine größte Länge betrug 41 Millionen franzöſiſcher Meilen, eine Länge, welche die Entfernung der Sonne von der Erde noch weit übertrifft. Der Schweif des Kometen vom Jahre 1769 hatte eine Länge von 16 Millionen, und derjenige des großen Kometen des Jahres 1811 von 36 Millionen franzöſiſcher Meilen. Der Theil des Kopfes dieſes lezteren, welcher in der durchſichtigen atmoſphäriſchen Hülle enthalten war, die ihn vom Schweife trennte, hatte 180000 franzöſiſche Meilen im Durchmeſſer. Man kann ſich kaum denken, daß Stoffe, die einmal in ſo enorme Entſernungen geſchleudert worden ſind, durch die ſchwache Anziehung eines Körpers, wie der eines Kometen, jemals wieder geſammelt werden können. Aus dieſer Betrachtung erklärt ſich die fortſchreitende Abnahme der Schweife derjenigen Kometen, welche zu wiederholten Malen beobachtet worden ſind.

488) Ein ſonderbarer Umſtand iſt hinſichtlich der Veränderung der Dimenſionen des Encke'ſchen Kometen bei ſeiner Annäherung an die Sonne und Wiederentfernung von derſelben bemerkt worden, nämlich, daß der wahre Durchmeſſer der ſichtbaren Nebelmaſſe eine raſche Zuſammenziehung erfährt, wenn der Komet ſich der Sonne

nähert, und eine eben ſo raſche Ausdehnung, wenn er ſich von der Sonne entfernt. Hr. Valz, der nebſt Andern dieſe Thatſache beobachtete, hat ſie auf die Weiſe erklärt, daß er eine wirkliche Compreſſion oder Verdichtung des Volumens, in Folge des Druckes eines ätheriſchen Mittels, annimmt, welches in der Nähe der Sonne immer dichter wird. Es iſt indeſſen ſehr möglich, daß die Veränderung in keiner wirklichen Ausdehnung oder Verdichtung des Volumens beſteht (außer etwa einer ſolchen, welche mit der Convergenz, oder Divergenz der verſchiedenen von jedem Maſſentheilchen beſchriebenen Parabeln nach, oder von einem gemeinſchaftlichen Scheitel, in Verbindung ſteht,) ſondern ſie kann vielmehr die abwechſelnde Umwandlung verdunſtbarer Stoffe in ſichtbare Wolken und unſichtbares Gas anzeigen, die in den obern Regionen einer durchſichtigen Atmosphäre lediglich durch die Wirkung der Wärme und Kälte vor ſich geht. Aber es iſt Zeit, einen in ſolche Geheimniſſe gehüllten Gegenſtand zu verlaſſen, der ein Feld für endloſe Speculationen darbietet.

Eilftes Kapitel.

Von den Störungen.

Gegenſtand der Unterſuchung. — Gleichzeitiges Stattfinden vieler kleinen Bewegungen. — Problem der drei Körper. — Schüzung der ſtörenden Kräfte. — Bewegung der Knoten. — Veränderungen der Neigung. — Ausgleichung dieſer Veränderungen nach Vollendung eines ganzen Knotenumlaufs. — Lagrange's Lehrſaz über die Stabilität der Neigungen. — Veränderung der Schiefe der Ekliptik. — Vorrücken der Nachtgleichen. — Nutation der Erdaxe. — Lehrſatz über die Fortpflanzung der Oſcillationen irgend eines Theils eines beliebigen Körperſyſtems auf die übrigen Theile deſſelben. — Von der Ebbe und Fluth. — Aenderung der Elemente der Planetenbahnen. — Periodiſche und Säcular-Aenderungen. — Die ſtörenden Kräfte betrachtet als Tangential- und Radial-Kräfte. — Wirkungen der Tangentialkraft, ſowohl in Kreisbahnen, als in elliptiſchen Bahnen. — Ausgleichung in den Störungen. — Ueber den Fall einer nahen Commenſurabilität der mittleren Bewegungen. — Erklärung der großen Ungleichheit in der Jupiters- und Saturns-Theorie. — Die Ungleichheit von langer Periode bei der Venus und der Erde. — Die Variation beim Monde. — Wirkungen der Radialkraft. — Mittlere Wirkung derſelben auf die Umlaufszeit und die Dimenſionen der geſtörten Bahn. — Veränderlicher Theil ihrer Wirkung. — Evection des Mondes. — Säculär-Beſchleunigung der mittleren Bewegung des Mondes. — Unveränderlichkeit der großen Axen und Umlaufszeiten. — Theorie der Säcularänderungen der Excentricitäten und der Perihelien. — Bewegung der Apſiden der Mondsbahn. — Lagrange's Lehrſaz über die Stabilität der Excentricitäten. — Nutation der Mondsbahn. — Störungen der Jupiterstrabanten.

489) Schon öfter haben wir Gelegenheit gehabt, den Leſer auf das Vorhandenſeyn kleiner Anomalieen oder Ungleichheiten in den Bewegungen des Mondes und der Planeten aufmerkſam zu machen, die nicht in dem Ausdrucke der Kepler'ſchen Geſeze enthalten ſind oder durch ſie angedeutet werden, ſondern welche vielmehr dieſe leztern gewiſſermaßen ergänzen und vervollſtändigen, aber, in Anſehung ihres Betrages, den numeriſchen Ergebniſſen dieſer, die allgemeine Natur der Bewegungen der Himmelskörper beſtimmenden Normen ſo ſehr untergeordnet ſind, daß zu ihrer Entdeckung noch ſchärfere Beobachtungen und vielfältigere Vergleichungen derſelben mit der Theorie erfordert werden, als man deren bedarf, um die Theorie der rein elliptiſchen Bewegung feſtzuſezen und zu beſtätigen. Dieſe Ungleichheiten ſind in der phyſiſchen Aſtronomie unter dem Namen der Störungen oder Perturbationen bekannt. Sie entſpringen bei den Hauptplaneten aus den wechſelſeitigen Anziehungen, die ſie auf einander ausüben, wodurch ihre elliptiſchen Bewegungen um die Sonne Aenderungen erleiden; und bei den Nebenplaneten entſtehen ſie theils ebenfalls aus der gegenſeitigen Anziehung der Satelliten, die zu einem und demſelben Hauptplaneten gehören, wodurch auf gleiche Weiſe ihre elliptiſche Bewegung um den leztern afficirt wird, theils ſind ſie eine Folge des Umſtandes, daß die Sonne den Hauptplaneten und ſeine Satelliten nicht gleichmäßig anzieht. Dieſe Störungen, obgleich ſie an ſich klein und in den meiſten Fällen für kurze Zeiträume unmerklich ſind, vermögen dennoch, wenn ſie ſich immer mehr anhäufen, was bei einigen von ihnen geſchieht, im Laufe der Zeit die urſprünglichen elliptiſchen Bahnen ſehr bedeutend zu ändern, ſo daß dadurch dieſelben Elemente, die zu einer gewiſſen Epoche die Bewegung jener Himmelskörper vollkommen gut darſtellten, nach Verlauf hinlänglich großer Zeiträume untauglich werden und nicht mehr genügen.

490) Als Newton zuerſt durch eine nähere Betrachtung der allgemeinen Natur der Bewegungen der Himmelskörper auf das Geſez der allgemeinen Schwere geführt wurde, einer Kraft, die jedem materiellen Stoffe

eigen iſt und bewirkt, daß jedes Körpertheilchen im Univerſum dem Einfluſſe eines jeden andern Theilchens unterworfen iſt, überſah er keineswegs die Modifikationen, welche dieſe allgemeine Ausdehnung des Geſezes in den Reſultaten einer ſpeciellern und beſchränktern Anwendung deſſelben auf die Bewegung der Planeten um die Sonne und der Trabanten um ihren Hauptplaneten als einzige Attractionsmittelpunkte derſelben, herbeiführen würde. Ja ſein außerordentlicher Scharfſinn ließ ihn bald ſehr beſtimmt erkennen, wie einige der bedeutendſten Ungleichheiten in der Bewegung des Mondes lediglich in dieſer allgemeineren Art und Weiſe, die Wirkung der Attractionskraft aufzufaſſen, ihre Erklärung und ihren Urſprung finden, namentlich die rückgängige Bewegung der Knoten und der direkte Umlauf der Apſiden der Mondsbahn. Und wenn Newton ſeine Unterſuchungen nicht auch auf die gegenſeitigen Störungen der Planeten ausdehnte, ſo geſchah dieſes nicht etwa deßhalb, weil er nicht erkannt hätte, daß ſolche Störungen vorhanden ſeyn müſſen, und mit der Länge der Zeit in dem gegenwärtigen Zuſtande des Planetenſyſtems große Veränderungen hervorbringen können, ſondern es iſt dieſes der damaligen Unvollkommenheit des praktiſchen Theiles der Aſtronomie zuzuſchreiben, der noch nicht diejenige Genauigkeit erlangt hatte, die erforderlich iſt, um zu einem ſolchen Unternehmen einzuladen und es wirklich anwendbar zu machen. Was indeſſen Newton ungeſchehen ließ haben ſeine Nachfolger vollendet; und heut zu Tage gibt es keine einzige, größere oder kleinere, durch Beobachtungen entdeckte Störung, deren Urſprung nicht aus der gegenſeitigen Gravitation der einzelnen Theile unſeres Planetenſyſtemes hergeleitet worden wäre, und die man, ihrem Zahlenwerthe nach, nicht auf das genaueſte durch eine ſtrenge, nach Newton's Grundſätzen ausgeführte Rechnung ausgemittelt hätte.

491) Rechnungen dieſer Art erfordern, wenn ſie mit Erfolg durchgeführt werden ſollen, eine ſehr tief eingehende Analyſe, deren nähere Entwickelung nicht mit dem Zwecke dieſes Werkes vereinbar ſeyn würde. Der Leſer, welcher derſelben vollſtändig Herr werden will, muß ſich

zu dieſem Unternehmen durch ein ausgedehntes Vorſtudium vorbereiten und ſich dem Ziele durch Schritte nähern, mit deren umſtändlicher Aufzählung wir uns hier nicht befaſſen können. Es wird indeſſen in dieſem Kapitel unſer Beſtreben ſeyn, dem Leſer eine gewiſſe allgemeine Einſicht in die Art und Weiſe der Wirkung der Kräfte zu verſchaffen, und zu zeigen, unter welchen Umſtänden ihnen in einigen Fällen ein hoher Grad von Wirkſamkeit — eine Art von Einkauf beim Gleichgewichte des Syſtems — zu Theil wird, während in andern Fällen, bei nicht geringerer Intenſität derſelben, ihr wirkliches Streben, große und andauernde Veränderungen hervorzubringen, durch Ausgleichung vereitelt wird, oder fehlſchlägt. Nicht minder wollen wir das Weſen jener bewunderungswürdigen Reſultate in Betreff der Stabilität unſeres Sonnenſyſtemes erläutern, auf welche die Geometer durch ihre ſcharfſinnigen Unterſuchungen geführt worden ſind, und die, unter der Form mathematiſcher Lehrſäze von großer Schönheit, Einfachheit und Eleganz, die Geſchichte des vergangenen und zukünftigen Zuſtandes der Planetenbahnen, von welcher wir, den Gegenſtand nach dieſem Geſichtspunkte auffaſſend, weder den Anfang noch das Ende erkennen, auf Jahrtauſende in ſich enthalten.

492) Wären im Weltraume keine anderen Körper, als die Sonne und ein Planet vorhanden, ſo würde lezterer eine genaue Ellipſe um die erſtere (oder beide eine ſolche um ihren gemeinſchaftlichen Schwerpunkt) beſchreiben, und für alle Zeiten fortfahren, ſich in einer und der nämlichen Bahn zu bewegen; aber in dem Augenblicke, wo wir dieſer Combination noch einen dritten Körper hinzufügen, wird die Attraction dieſes leztern die beiden erſten Körper von ihren gegenſeitigen Bahnen ablenken, und dadurch, daß derſelbe nicht gleichmäßig auf ſie einwirkt, ihr wechſelſeitiges Bewegungsverhältniß ſtören; es wird mithin die ſtrenge und mathematiſche Genauigkeit ihrer elliptiſchen Bewegungen, entweder des einen um den andern, oder beider um einen feſten Punkt im Weltraume, aufhören, fortzubeſtehen. Indem wir den Gegenſtand auf dieſe Art betrachten, ſehen wir, daß der neu

hinzugekommene Körper nicht durch den Geſammtbetrag ſeiner Attraction eine Störung hervorbringt, ſondern daß dieſes durch den Unterſchied ſeiner Attractionen, die er auf die beiden anfänglich vorhandenen Körper äußert, geſchieht.

493) Im Vergleich mit der Sonne ſind alle Planeten außerordentlich klein, indem die Maſſe des Jupiter, des allergrößten unter ihnen, noch nicht den tauſendſten Theil der Sonnenmaſſe ausmacht. Ihre gegenſeitigen Anziehungen ſind demnach ſämmtlich ſehr ſchwach im Vergleich mit der vorherrſchenden Macht der Sonne, und die Wirkungen ihrer ſtörenden Kräfte ſind verhältnißmäßig klein. Bei den Nebenplaneten iſt die Haupttriebfeder, welche ſie in ihren Bewegungen ſtört, die Sonne ſelbſt, die in der That eine ſehr große Maſſe beſizt, deren ſtörender Einfluß aber außerordentlich vermindert wird durch die große Nähe der Nebenplaneten bei ihrem Hauptplaneten im Vergleich zu ihrer beiderſeitigen Entfernung von der Sonne, wodurch der Unterſchied der Attractionen der leztern in Bezug auf den Haupt- und auf den Nebenplaneten, im Verhältniß zu der Geſammtwirkung der Sonne auf beide, äußerſt klein wird. In dieſem Falle wirkt der bei weitem größte Theil der Sonnenattraction, nämlich derjenige, der ſich auf den Haupt- und Nebenplaneten gemeinſchaftlich äußert, dahin, beide in ihrer gemeinſchaftlichen Bahn um die Sonne zu erhalten, und ihre Trennung von einander zu verhindern. Nur der kleine, von der verhältnißmäßig ſehr geringen Ungleichheit ihrer Entfernungen von der Sonne herrührende Ueberſchuß der Attraction der leztern iſt es, der ſich als eine ſtörende Kraft äußert. Der mittlere Durchſchnittswerth dieſes Ueberſchuſſes beträgt, bei unſerem durch die Sonne geſtörten Monde, nach Newton's Berechnung nicht mehr als $\frac{1}{638000}$ der Schwere an der Oberfläche unſerer Erde, oder $\frac{1}{179}$ der Hauptkraft, welche den Mond in ſeiner Bahn erhält.

494) Dieſe außerordentliche Geringfügigkeit der Iten-

ſitäten der ſtörenden Kräfte, im Vergleich zu denen der Hauptkräfte, und die daraus folgende Kleinheit ihrer momentanen Wirkungen, ſezt uns in den Stand, eine jede von dieſen Wirkungen abgeſondert für ſich in Betrachtung zu ziehen, gleichſam als wenn die übrigen nicht vorhanden wären, wobei wir nicht zu befürchten haben, in unſeren Folgerungen einen größern Fehler zu begehen, als diejenigen ſind, die ohnehin bei einer erſten Annäherung nothwendig noch ſtattfinden. Es iſt ein Grundſaz in der Mechanik, der unmittelbar aus den urſprünglichen Verhältniſſen zwiſchen den Kräften und den Wirkungen, welche ſie hervorbringen, fließt, daß, wenn eine Anzahl von ſehr geringfügigen Kräften zu gleicher Zeit auf ein Körperſyſtem einwirkt, die vereinigte Wirkung derſelben gleich iſt der Summe oder dem Aggregate ihrer einzelnen Wirkungen, in ſo fern nämlich durch ihre Einwirkung das anfängliche Verhältniß unter den verſchiedenen Beſtandtheilen des Syſtems nicht weſentlich verändert worden iſt. Solche Wirkungen, welche ſich den größeren, durch die Hauptkräfte verurſachten Bewegungen hinzugeſellen, kann man füglich vergleichen mit den, durch tauſend abwechſelnde Lüftchen herbeigeführten Kräuſelungen des Waſſers bei dem allgemeinen und regelmäßigen Wogen eines tiefen, ſich fortwälzenden Meeres, welche über die Oberfläche deſſelben hinlaufen, als ob ſie eine Ebene wäre, und dieſelbe nach allen Richtungen durchkreuzen, jede Kräuſelung für ſich, als ob die andere nicht da wäre. — Nur wenn die Wirkungen ſolcher kleinen Kräfte im Laufe der Zeit ſich anhäufen, ſo daß ſie die anfänglichen Relationen oder Data des Syſtems ändern, wird es nothwendig, die ihrer momentanen Wirkſamkeit entſprechenden Veränderungen beſonders zu berückſichtigen, weil dieſe den Gang und das Maaß der nachfolgenden Veränderungen afficiren, wodurch Perioden oder Kreisläufe von außerordentlicher Länge hervorgebracht werden. Aus dieſer Betrachtung entſpringen einige der merkwürdigſten Theorieen der phyſiſchen Aſtronomie.

495) Es wird hierdurch einleuchtend, daß wir bei der Beſtimmung des ſtörenden Einfluſſes verſchiedener Körper, die zuſammen ein Syſtem bilden, in welchem der

eine ein bedeutendes Uebergewicht über alle übrigen hat, uns nicht mit Combinationen der einen ſtörenden Kraft mit der andern zu befaſſen brauchen, inſofern nicht unermeßlich lange Perioden in Betrachtung kommen, die z. B. aus vielen tauſend Umläufen der fraglichen Körper um ihren gemeinſchaftlichen Centralpunkt beſtehen. Demnach reducirt ſich das Problem der Erforſchung der Störungen eines Syſtems von noch ſo vielen Körpern, welches ſo beſchaffen iſt, wie unſer Planetenſyſtem, in der That auf dasjenige für ein Syſtem von nur drei Körpern, nämlich einem vorherrſchenden Centralkörper, und ſodann einem ſtörenden und einem geſtörten Körper. Die beiden lezteren vertauſchen ihre Benennungen, je nachdem die Bewegung des einen oder des andern Gegenſtand der Unterſuchung iſt.

496) Die Intenſität der ſtörenden Kraft ändert ſich beſtändig, je nach der relativen Lage des ſtörenden und des geſtörten Körpers in Bezug auf die Sonne. Wenn die Attraction des ſtörenden Körpers M auf den Centralkörper S und auf den geſtörten Körper P (mit dieſen Buchſtaben wollen wir hinfort der Abkürzung wegen dieſe Körper bezeichnen) gleich wäre und nach parallelen Richtungen wirkte, ſo würde, welches auch immer das Geſez ihrer Aenderung ſeyn möchte, dadurch keine Abweichung in der elliptiſchen Bewegung von P um S, oder eines jeden von ihnen um den andern, hervorgebracht werden. Der Fall würde genau derjenige des Art. 585 ſeyn, indem eine ſo beſchaffene Attraction von M in jedem Augenblicke in ihren Wirkungen vollkommen der terreſtriſchen Schwere analog wäre, die nach parallelen Richtungen wirkt und eine gleiche Kraft auf alle Körper äußert, ſie mögen groß oder klein ſeyn. Aber dieſer Fall findet in der Natur nicht ſtatt. Was in dem zunächſt folgenden Artikel 386 über den ſtörenden Einfluß der Sonne auf den Lauf des Mondes bemerkt worden iſt, findet, mutatis mutandis, auf jeden Störungsfall Anwendung; und wir müſſen daher jezt in Bezug auf dieſen Gegenſtand uns über die dort nur kurz angedeuteten Hauptmomente deſſelben etwas ausführlicher verbreiten.

497) Wir werden zuerſt denjenigen Theil der ſtörenden Kraft betrachten, welcher den geſtörten Körper aus der Ebene, in der er, wenn er keine Störung erlitte, ſeine Bahn vollenden würde, herauszuziehen ſtrebt, und hierdurch bewirkt, daß er eine Curve beſchreibt, von der nicht zwei neben einander liegende Stücke in einer und derſelben Ebene liegen, oder, wie man ſie in der Geometrie nennt, eine Curve von doppelter Krümmung. Es bezeichnen alſo (Fig. 62) P N die Bahn, welche der Körper P, wenn er keine Störung erführe, um S beſchreiben würde, und man nehme an, daß er in P in irgend einem Zeitmomente ankomme und im Begriff ſey, im nächſtfolgenden Augenblicke den von keiner Störung afficirten Bogen P p zu beſchreiben, deſſen Verlängerung, in der Richtung ſeiner Tangente P p R, die Ebene der Bahn M L des ſtörenden Körpers irgendwo in der gemeinſchaftlichen Knotenlinie S L, z. B. in R, ſchneiden wird. Dieſes würde der Fall ſeyn, wenn M keine ſtörende Kraft äußerte. Wenn wir aber annehmen, daß er eine ſolche ausübt, ſo wird er, weil er beide Körper S und P in Richtungen anzieht, die nicht mit der Ebene der Bahn von P zuſammenfallen, dadurch bewirken, daß in dem nächſten Zeitmomente beide Körper dieſe Ebene verlaſſen, und zwar auf eine ungleiche Weiſe, weil nämlich erſtens M nicht beide nach parallelen Richtungen anzieht, und zweitens, weil ſie, bei ihrer ungleichen Entfernung von M, vermöge des Geſezes der allgemeinen Schwere auch nicht gleich ſtark angezogen werden. Durch dieſe Verſchiedenheit der ſo erzeugten Bewegungen wird demnach bewirkt, daß die relative Bahn von P um S ſich ändert, ſo daß, wenn wir fortfahren, die Bewegung des Körpers P auf S, als einen feſten Mittelpunkt, zu beziehen, der ſtörende Theil des Impulſes, den er von M empfängt, ihn zwingen wird, aus der Ebene P S N herauszutreten, und in dem nächſtfolgendem Zeitmomente nicht den Bogen P p, ſondern einen Bogen P q zu beſchreiben, der entweder über oder unter P p liegt, je nach dem Uebergewichte, das eine der beiden, von M auf P und S ausgeübten Kräfte über die andere hat.

498) Die ſtörende Kraft wirkt in der Ebene des Drei-

ecks SPM, und kann als in zwei Kräfte zerlegt betrachtet werden. Die eine derſelben treibt P längs der Linie SP nach S hin oder davon weg, und vermehrt oder vermindert alſo durch ihre Wirkung die direkte Attraction von S auf P; die andere wirkt längs einer Linie PK, parallel mit SM, und kann betrachtet werden als eine ſolche, welche P entweder in der Richtung PK herbeizieht, oder in der entgegengeſezten Richtung zurücktreibt, beide Ausdrücke ſo verſtanden, daß ſie nur auf die relative Lage von S und P, bei der man S als feſt annimmt, bezogen werden, und nicht auf die ganze auf P geäußerte Wirkung. Die erſtere von dieſen beiden Kräften, die immer in der Ebene der Bewegung von P wirkt, kann nichts dazu beitragen, ihn aus dieſer Ebene zu entfernen; nur die leztere Kraft kann dieſen Erfolg hervorbringen, und ſie bewirkt ihn nicht einmal mit dem vollen Betrag ihrer Stärke, ſondern nur mit einem Theile derſelben, der ſich durch eine abermalige Zerlegung dieſer Kraft finden läßt. Aber mit dieſer neuen Zerlegung wollen wir uns nicht befaſſen, da es uns hier nur darum zu thun iſt, die Art und Weiſe zu erläutern, wie die Bewegung der Knoten entſteht, und nicht auch die Ermittelung der Größe dieſer Bewegung in unſrem Zwecke liegt.

499) Bei der, in der Figur dargeſtellten gegenſeitigen Lage oder ſogenannten Configuration der drei Körper iſt die Kraft nach der Richtung PK eine herbeiziehende Kraft, und, da die Linie PK, als mit SM parallel, unter der Ebene der Bahn von P liegt (wenn man diejenige der Bahn von M als Grundebene annimmt,) ſo iſt klar, daß der von der Störung afficirte Bogen Pq, welchen P in dem nächſtfolgenden Zeitmomente beſchreibt, unter Pp liegen müſſe. Verlängert man alſo ſeine Tangente, bis ſie die Ebene der Bahn von M durchſchneidet, ſo wird ſie die leztere in einem Punkte r, hinter R, treffen, und die Linie Sr, welches die Durchſchnittslinie der Grundebene mit der Ebene SPq (jezt für einen Augenblick die Ebene der geſtörten Bewegung von P) iſt, wird hinter die, nicht von der Störung afficirte Knotenlinie SR zu liegen kommen,

d. h. mit andern Worten, die Knotenlinie wird ſich um den Winkel RSr retrograd fortbewegt haben, in ſo fern man die Bewegungen von P und M als direkt betrachtet.

500) Nehmen wir nunmehr an, M liege, ſtatt auf der rechten Seite der Knotenlinie, links von derſelben, wobei P ſeine Lage beibehalte, ſo wird die ſtörende Kraft, nach der Richtung PK, P über ſeine Bahn zu erheben und Pq über Pp zu bringen ſtreben, mithin wird r vor R voraus ſeyn. Bei dieſer Configuration wird alſo der Knoten vorrücken; aber ſobald P den Knoten paſſirt und auf die untere Seite der Bahn von M gelangt, wird man, bei der nämlichen Dispoſition der Kräfte, bei welcher demnach auch Pq ſeine Lage oberhalb Pp beibehält, doch in dieſem Falle die Tangente des kleinen Bogens Pq rückwärts verlängern müſſen, um unſere Grundebene zu treffen, und dieſe alſo verlängerte Tangente wird mithin unter der auf gleiche Weiſe verlängerten Tangente des Bogens Pp liegen, ſo daß alſo auch in dieſem Falle der Knoten zurückgehen wird.

501) Auf dieſe Art ſehen wir, daß die Wirkung der ſtörenden Kraft, bei den verſchiedenen Stellungen, welche die Körper P und M in Bezug auf die Knotenlinie einnehmen können, darin beſteht, die Knotenlinie in ein beſtändiges Schwanken vorwärts und rückwärts zu verſezen; und es wird von dem Uebergewicht aller der Combinationen, welche das Vorrücken derſelben befördern, über diejenigen, die ihr Zurückweichen bewirken, abhängen, ob nach dem mittlern Durchſchnitte aller möglichen Configurationen, im Ganzen genommen, ein Vorrücken oder Zurückweichen der Knoten ſtattfindet.

502) Iſt der Durchmeſſer der Bahn von M im Vergleich zu demjenigen der Bahn von P ſehr groß, und zwar ſo groß, daß man ohne weſentlichen Fehler MP als parallel mit MS betrachten kann, wie es bei der durch die Sonne geſtörten Mondsbahn der Fall iſt, ſo findet man, durch eine nähere Unterſuchung ſämmtlicher möglichen Veränderungen der Configuration und bei gehöriger Berückſichtigung der Richtung der ſtörenden Kraft, ſehr

leicht, daß während jedes einzelnen vollſtändigen Umlaufs von P die Combinationen, die eine rückgängige Bewegung des Knotens verurſachen, jene, welche die entgegengeſezte Bewegung bewirken, überwiegen, indem das Zurückweichen der Knotenlinie für den größern Theil der ganzen Bahn ſtattfindet, und indem daſſelbe zu gleicher Zeit, in Folge einer ſtärkern und günſtigern Wirkung der Kraft, raſcher vor ſich geht, als das Vorrücken. Hieraus folgt, daß während jedes Umlaufs des Mondes um die Erde, die Knoten ſeiner Bahn, im Ganzen genommen, auf der Ekliptik zurückgehen, genau wie es der Erfahrung gemäß iſt, und zwar mit einer Geſchwindigkeit, die ſich von einem Mondsumlaufe zum andern verändert. Berechnet man, was durch eine genaue Berückſichtigung und Voranſchlagung aller wirkenden Kräfte geſchehen kann, die Größe dieſer rückgängigen Bewegung, ſo findet ſich, daß dieſelbe mit derjenigen, die unmittelbar aus den Beobachtungen gefolgert wird, vollkommen übereinſtimmt, ſo daß über die wirkliche Art und Weiſe, wie eine ſo merkwürdige Erſcheinung, wie dieſe, hervorgebracht wird, auch nicht der geringſte Zweifel mehr obwalten kann.

503) Theoretiſch geſprochen, können wir das Zurückweichen der Knotenlinie der Mondsbahn auf der Ekliptik nicht genau und vollſtändig aus einer bloßen Betrachtung der Störung der einen von dieſen beiden Ebenen ermitteln. Es iſt dieſes ein zuſammengeſeztes Phänomen; beide Ebenen bewegen ſich in Bezug auf eine als feſt angenommene Ekliptik, und wir müſſen, um den zuſammengeſezten Effekt zu erhalten, auch die Störung in Betrachtung ziehen, welche die Erde in ihrer Bahn um die Sonne durch den Mond erleidet. Aber wegen der großen Entfernung der Sonne verſchwindet die Intenſität der Attraction des Mondes, die er auf die Sonne äußert, gänzlich gegen diejenige, womit er auf die Erde wirkt, ſo daß hier die ſtörende Kraft, welche der Unterſchied der Anziehungen des Mondes in Bezug auf die Sonne und auf die Erde iſt, der ganzen auf die Erde ausgeübten Attraction des Mondes gleich wird. Dieſe bringt bei jedem Mondsumlaufe eine abwechſelnde

Verrückung des Erdmittelpunktes nach beiden Seiten der Ekliptik hervor, deren Betrag man leicht berechnen kann, indem man den gemeinſchaftlichen Schwerpunkt von Erde und Mond als genau in der Ekliptik liegend ſich vorſtellt. Eine ſolche Berechnung zeigt, daß die fragliche Verrückung des Erdmittelpunktes in ihrem größten Betrage nur einen kleinen Bruch des Halbmeſſers der Erde ausmacht; mithin muß die momentane Veränderung derſelben, von welcher die Bewegung des Knotens der Ekliptik auf der Ebene der Mondsbahn abhängt, ganz unmerklich ſeyn.

504) Anders verhält es ſich mit der gegenſeitigen Einwirkung der Planeten. Bei dieſen müſſen beide Bahnen, die des geſtörten Planeten und die des ſtörenden, als in Bewegung befindlich betrachtet werden. Ganz nach den oben erläuterten Grundſätzen kann gezeigt werden, daß die Wirkung der Attraction, die jeder Planet auf die Bahn eines jeden andern äußert, darin beſteht, bei einigen Configurationen ein Zurückgehen des Knotens der einen Bahn auf der andern, und bei anderen ein Vorrücken deſſelben zu verurſachen, woraus zulezt, wie beim Monde, nach einem mittlern Durchſchnitte von vielen Umläufen, ein regelmäßiges Zurückgehen des Knotens jeder Bahn auf einer jeden andern entſteht. Da dieſes aber bei jedem Paare, zu welchem man die Planeten mit einander verbinden kann, der Fall iſt, ſo wird die durch ihre vereinigte Wirkung erzeugte, am Ende ſich ergebende Bewegung des Knotens irgend einer beliebigen Bahn, inſofern man dabei alle die verſchiedenen Lagen der einzelnen Planetenbahnen berückſichtigt, ein ſehr zuſammengeseztes und verwickeltes Phänomen, deſſen Geſez nicht leicht in Worten angegeben, wohl aber auf einen genauen nummeriſchen Ausdruck gebracht werden kann, der in der That nichts anderes, als das geometriſche Endreſultat deſſen iſt, was oben auseinandergeſezt wurde.

505) Die Knoten aller Planetenbahnen ſind demnach auf der wahren Ekliptik rückgängig, aber (was ein ſehr weſentlicher Umſtand iſt) nicht alle ſind ſie ſolches auf einer feſten, willkührlich im Weltraume angenommenen

Ebene, auf die wir die Lage der Bahnen ſämmtlicher Planeten beziehen können, und welche von den Störungen derſelben unter einander unberührt bleibt. Indeſſen iſt es für unſern Standpunkt im Sonnenſyſteme nothwendig, die Bewegungen der Planeten auf die Ekliptik zu beziehen; und wenn wir unſere Beſtimmungen auf eine feſte Ebene übertragen wollen, ſo müſſen wir die Veränderung der Ekliptik ſelbſt, die durch die vereinigte Wirkung aller Planeten erzeugt wird, ebenfalls in Rechnung bringen.

506) In Folge der Kleinheit der Maſſen der Planeten und der Größe ihrer Entfernungen von einander, bewegen ſich die Knotenlinien ihrer Bahnen außerordentlich langſam, ſo daß bei einem jeden dieſe Bewegung während eines Jahrhunderts weniger als einen Grad beträgt, und in den meiſten Fällen dieſe Größe nicht einmal zur Hälfte erreicht wird. In Bezug auf die phyſiſche Conſtitution eines jeden Planeten kann offenbar die Lage ihrer Knotenlinien von keiner beſondern Wichtigkeit ſeyn. Anders aber verhält es ſich mit den gegenſeitigen Neigungen ihrer Bahnen, ſowohl in Beziehung zu einander, als auch zum Aequator eines jeden Planeten. Eine Veränderung in der Lage der Ekliptik z. B., welche die Entfernung des Pols derſelben vom Pole des Aequators abänderte, würde auch unſere Jahreszeiten modificiren. Könnte z. B. die Ebene der Erdbahn ihre Lage beſtändig ſo ändern, daß die Ekliptik endlich mit dem Aequator zuſammenfiele, ſo würden wir auf der ganzen Erde immerwährenden Frühling haben; ſo wie auf der andern Seite, wenn ſie mit einem Meridiane zuſammenfallen könnte, die Extreme des Sommers und Winters unerträglich werden würden. Die Unterſuchung der Veränderungen, denen die gegenſeitigen Neigungen der Planetenbahnen unterworfen ſind, hat daher ein viel höheres praktiſches Intereſſe, als diejenige der Veränderungen ihrer Knoten.

507) Nach Fig. 62 iſt es einleuchtend, daß die Ebene SPq in welcher der geſtörte Körper, nachdem er den Ort P verlaſſen, für einen Augenblick ſich fortbewegt, eine andere Neigung gegen die Bahn von M, oder gegen irgend eine

feſte Ebene beſizt, als die urſprüngliche oder ungeſtörte Ebene P S p. Der Unterſchied der abſoluten Stellung dieſer zwei Ebenen im Raume iſt der Winkel zwiſchen den Ebenen P S R und P S r, und er kann daher nach der ſphäriſchen Trigonometrie aus dem Orte von P in ſeiner Bahn und der gegenſeitigen Neigung der Bahnen von P und M berechnet werden, wenn der Winkel R S r, oder das momentane Fortrücken des Knotens, bekannt iſt. Wir ſehen alſo, daß zwiſchen der momentanen Veränderung der Neigung und dem momentanen Fortrücken des Knotens ein inniger Zuſammenhang ſtattfindet, und daß die Erforſchung der einen in der That an diejenige des andern gebunden iſt. Dieſes kann man ſich vielleicht noch anſchaulicher machen dadurch, daß man ſich die Bahn von P nicht blos als eine eingebildete Linie, ſondern als einen wirklichen, kreisförmigen oder elliptiſchen, Reif von irgend einem feſten Stoffe, der keine Trägheit beſizt, vorſtellt, auf welchem der Körper P, wie ein Kügelchen auf einer Schnur, fortgleitet. Es iſt klar, daß die Stellung dieſes Reifes in jedem Augenblicke beſtimmt ſeyn wird durch ſeine Neigung gegen die Grundebene, auf welche man ihn bezieht, und durch die Lage ſeiner Durchſchnittslinie mit derſelben, oder durch ſeine Knoten. Dieſe Stellung wird aber auch beſtimmt ſeyn durch die momentane Richtung der Bewegung von P, welcher der Reif (da er keine Trägheit hat) folgen muß; und jede Veränderung, durch welche P veranlaßt wird, im nächſtfolgenden Zeitmomente von ſeiner Bahn abzuweichen, hat auch eine Verrückung des ganzen Reifes zur Folge, der mithin zu gleicher Zeit ſeine Neigung und ſeine Knotenlinie ändert.

508) Aus dem, was oben auseinandergeſezt worden iſt, läßt ſich unmittelbar folgern, daß, wenn die Bahnen, wie es im Planetenſyſteme der Fall iſt, nur eine geringe Neigung gegen einander haben, die momentanen Veränderungen der Neigung viel kleiner ſind, als diejenigen des Knotens. Dieſes wird durch einen bloßen Anblick unſerer Figur einleuchtend, wo der Winkel R P r, wegen der geringen Neigung der Ebenen S P R und R S r, nothwendig viel kleiner iſt, als der Winkel R S r. Je mehr die Ebenen der Bahnen von P und M ſich der Coincidenz

nähern, eine deſto größere Veränderung wird eine ganz geringe Rotationsbewegung des Bogens Pp um PS, als um eine Axe, in der Lage des Punktes r hervorbringen, in welchem die verlängerte Tangente deſſelben die Grundebene durchſchneidet.

509) Der Uebergang von den momentanen Veränderungen der Relationen, welche in der Natur ſtattfinden, zu den Totalwirkungen, die der fortdauernde Einfluß der nämlichen Urſachen nach beträchtlichen Zeiträumen erzeugt, und zwar unter Umſtänden, die eben durch jene Wirkungen ſich beſtändig ändern, — iſt Sache der Integralrechnung. Ohne uns jedoch hier in irgend eine Rechnung einzulaſſen, wird es, durch eine Betrachtung weniger Fälle, leicht für uns ſeyn, den wechſelnden Einfluß, der aus der Verſchiedenheit der Stellungen des ſtörenden und des geſtörten Körpers ſowohl gegen einander, als gegen den Knoten des leztern, entſteht, zu bezeichnen, und daraus die beiden Hauptmomente dieſer Theorie herzuleiten, nämlich die periodiſche Natur der Veränderungen und Wiederherſtellung der urſprünglichen Neigungen, und die geringe Ausdehnung der Gränzen, in welche dieſe Veränderungen eingeſchloſſen ſind.

510) Erſter Fall, in welchem der ſtörende Körper in einer auf der Knotenlinie ſenkrechten Richtung liegt, oder die Knoten mit ihm in Quadratur ſind. Es bezeichne alſo (Fig. 63) M den ſtörenden Körper und SN die Knotenlinie, ſo wird die ſtörende Kraft auf P nach der Richtung PK wirken, wobei ſie eine herbeiziehende Kraft iſt, ſo lang ſich P an irgend einer Stelle des Halbkreiſes HAN befindet, und eine zurücktreibende Kraft für den ganzen entgegengeſezten Halbkreis. Auch ſieht man leicht, daß dieſe Kraft bei A und B am ſtärkſten iſt, bei H und N aber verſchwindet. In dem ganzen Halbkreiſe HAN wird demnach der Bogen Pq unter Pp liegen, und wenn man ſeine Tangente in dem Quadranten HA rückwärts, und in dem Quadranten AN vorwärts verlängert, ſo wird ſie den Kreis HbNa, in der Ebene der Bahn von M, in Punkten treffen, die hinter den Knoten H und N liegen, oder die Knoten werden in beiden Fällen zurückgegangen ſeyn. Aber die

neue Neigung der geſtörten Bahn iſt in dem erſten Falle der Winkel Pxa, der kleiner iſt, als PHa; und im leztern iſt ſie der Winkel Pya, der größer iſt als PNa. In dem andern Halbkreiſe iſt die Richtung der ſtörenden Kraft umgekehrt; da aber auch die Richtung der Bewegung von P, in Bezug auf die Ebene der Bahn von M, ebenfalls in jedem Quadranten der vorigen entgegengeſezt iſt, ſo werden hier die nämlichen Veränderungen des Knotens und der Neigung hervorgebracht werden. Bei dieſer Lage von M ſind demnach die Knoten während des ganzen Umlaufes von P rückgängig, die Neigung dagegen verkleinert ſich während ſeines Aufenthalts in dem Quadranten HA, vergrößert ſich dann wieder in dem nämlichen Grade in dem Quadranten AN, nimmt in dem Quadranten NB abermals ab und erlangt endlich bei H ihre frühere Größe wieder. Für einen ganzen Umlauf von P wird hier alſo in der Vorausſezung, daß M ſeinen Ort nicht verläßt, der mittlere Durchſchnitt der rückgängigen Bewegung des Knotens ſeinen größten Werth erlangt haben, die Neigung aber ungeändert geblieben ſeyn.

511) Zweiter Fall, wo der ſtörende Körper ſich in der Richtung der Knotenlinie befindet, oder die Knoten mit ihm in der Syzygie ſind, wie in Fig. 64. Bei dieſer Stellung liegt die Richtung der ſtörenden Kraft, welche immer parallel mit SM wirkt, beſtändig in der Ebene der Bahn von P, und ſie bringt alſo weder eine Veränderung der Neigung, noch eine Bewegung der Knoten hervor.

512) Dritter Fall. Nunmehr wollen wir eine zwiſchenliegende Stellung von M annehmen. Bezeichnen wir (Fig. 65) durch die Pfeile die Richtung der ſtörenden Kraft (die in derjenigen Hälfte der Bahn, welche nach M zu gekehrt iſt, eine herbeiziehende, und in der entgegengeſezten Hälfte eine zurücktreibende Kraft iſt,) ſo iſt leicht zu ſehen, daß das im Art. 510 Geſagte auch von dem ganzen Theile der Bahn gilt, der zwiſchen T und N, und zwiſchen V und H liegt, daß aber in den Zwiſchenräumen HT und NV, in Folge der hier eintretenden entgegengeſezten Richtung der Bewegung in

Bezug auf die Ebene der Bahn von M, auch die Wirkung umgekehrt ſeyn wird. In dieſen Theilen der Bahn iſt indeſſen die ſtörende Kraft ſchwächer, als in den andern, indem ſie in der Linie der Quadraturen T V verſchwindet und in den Syzygien a b ihr Maximum erreicht. In den erſtgenannten Bahntheilen werden alſo die Knoten raſch zurückgehen, und in den leztgenannten nur wenig vorſchreiten; und weil, ſobald N dem Punkte a näher zu liegen kommt, die ſtörende Kraft gleichfalls an Wirkſamkeit verliert, indem ſie alsdann in um ſo ſchrägerer Richtung gegen die Ebene der Bahn von P wirkt, ſo werden auch hier, im Durchſchnitt für einen ganzen Umlauf von P, die Knoten zurückgehen. Andererſeits wird jezt die Neigung, ſo lange P ſich zwiſchen T und c, einem um 90° vom Knoten entfernten Punkte befindet, abnehmen, wogegen ſie nicht nur, während P den ganzen Quadranten c N, ſondern auch, während er den noch übrigen Theil N V ſeiner halben Bahn durchläuft, zunimmt; und eben ſo auch in der andern Hälfte der Bahn. Es wird demnach bei dieſer Stellung von M, im Durchſchnitt für einen ganzen Umlauf von P, eine nicht ausgeglichene Zunahme der Neigung ſtattfinden.

513) Aber dieſe Zunahme verwandelt ſich in eine Abnahme, wenn die Knotenlinie ſich auf der andern Seite von S M, oder in den Quadranten V b, T a befindet; und wenn wir fortwährend M als feſt betrachten und annehmen, daß die Veränderung der Stellungen nicht von der Bewegung von M, ſondern von der des Knotens herrühre, ſo iſt einleuchtend, daß, ſobald die Knotenlinie bei ihrer rückgängigen Bewegung den Punkt a überſchritten hat, die Verhältniſſe ſämmtlich gerade umgekehrt ſeyn werden, und die Neigung bei jedem Umlaufe von P nach den nämlichen Graden, nur in umgekehrter Ordnung genommen, abnehmen wird, nach welchen ſie zuvor zunahm. Es wird folglich nach Vollendung eines ganzen Knotenumlaufs die Neigung wieder ihre urſprüngliche Größe erlangt haben. In der That, inſofern blos der mittlere Durchſchnitt der Wirkung in Bezug auf die Neigung in Betracht kommt, können wir, anſtatt den Körper M als in einer und derſelben Stellung unbeweg-

lich anzunehmen, denſelben uns in jedem Augenblicke in vier gleiche Theile getheilt vorſtellen, die unter gleichen Winkeln zu beiden Seiten der Knotenlinie hingeſtellt ſind, wo es alsdann klar iſt, daß bei jedem Umlaufe von P die Wirkung zweier dieſer Theile darin beſtehen wird, diejenige der beiden anderen genau aufzuheben oder zu vernichten.

514) Bei dem bisher Geſagten haben wir den Körper M als ruhend angenommen; aber in Beziehung auf die mittleren Endreſultate gelten dieſelben Schlüſſe, auch wenn wir ihn als beweglich betrachten. Denn während eines ganzen Umlaufs der Knoten, der wegen der großen Langſamkeit ihrer Bewegung einen außerordentlichen Zeitraum erfordert, indem derſelbe bei den Planeten in den meiſten Fällen mehrere Jahrtauſende, und beim Monde nicht weniger als 237 Lunationen beträgt, gelangt der ſtörende Körper M durch ſeine eigene Bewegung in alle möglichen Stellungen in Bezug auf die Knotenlinie. Noch ehe der Knoten ſeine Lage weſentlich verändert haben kann, hat M ſchon einen ganzen Umlauf vollendet und iſt zu ſeiner frühern Stellung zurückgekehrt, ſo daß wir in der That (den kleinen Unterſchied abgerechnet, der aus dem Zurückweichen des Knotens während eines ſynodiſchen Umlaufs von M entſteht) ihn ſo betrachten können, als befinde er ſich in jedem Zeitmomente auch in jedem Punkte ſeiner Bahn, oder vielmehr, als ſey ſeine Maſſe in dem ganzen Umfange ſeiner Bahn, wie ein feſter Ring, gleichförmig vertheilt. Hiernach findet die Ausgleichung, von der wir gezeigt haben, daß ſie nach einem vollſtändigen Knotenumlaufe eintrete, in der That nach jedem ſynodiſchen Umlaufe von M ſtatt, mit alleiniger Ausnahme jenes kleinen Unterſchiedes, der von der ſo eben erwähnten Urſache herrührt. Dieſer Unterſchied, und nicht die ganze ſtörende Wirkung von M, iſt es alſo, der die wirkliche Veränderung der Neigungen hervorbringt, ſowohl bei den Bahnen der Planeten, als bei derjenigen des Mondes; und dieſer Unterſchied, der durch die Bewegung von M unausgeglichen bleibt, wird ſeinerſeits wieder durch die Bewegung des Knotens nach einem vollſtändigen Umlaufe deſſelben ausgeglichen.

515) Es iſt demnach klar, daß die Totaländerung der Neigungen der Planetenbahnen in ſehr enge Grenzen eingeſchloſſen ſeyn muß. In der That haben die Geometer durch eine ſorgfältige Analyſe aller Verhältniſſe und durch genaue Berechnung der ſtörenden Kräfte übereinſtimmend bewieſen, daß dieſes wirklich der Fall iſt; und in dieſem Saze iſt die Behauptung enthalten, die man über die Stabilität des Planetenſyſtems hinſichtlich der gegenſeitigen Neigungen der Planetenbahnen aufgeſtellt hat. Durch die Unterſuchungen von Lagrange (von deſſen analytiſchem Verfahren es unmöglich iſt, hier einen Begriff zu geben) iſt der nachſtehende elegante Lehrſaz bewieſen worden: —

„Multiplicirt man die Maſſe eines jeden Planeten mit der Qadratwurzel aus der großen Axe ſeiner Bahn und mit dem Quadrate der Tangente ſeiner Neigung gegen eine feſte Ebene, ſo wird die Summe aller dieſer Produkte, unter dem Einfluſſe ihrer gegenſeitigen Attractionen, ſtets unveränderlich dieſelbe ſeyn.“

Nimmt man die gegenwärtige Lage der Ebene der Ekliptik für jene feſte Ebene an (da die Ekliptik ſelbſt, wie die Bahnen der anderen Planeten, veränderlich iſt,) ſo findet man, daß dieſe Summe dermalen ſehr klein iſt; ſie muß daher beſtändig ſo klein bleiben. Dieſer merkwürdige Lehrſaz würde demnach für ſich allein ſchon die Stabilität der Bahnen der größeren Planeten verbürgen; aber aus dem, was oben von dem Streben eines jeden Planeten, bei jedem andern eine Ausgleichung zu bewirken, gezeigt worden iſt, geht eben ſo einleuchtend hervor, daß auch die kleineren Planeten von den Vortheilen dieſer Einrichtung nicht ausgeſchloſſen ſind.

516) Wir wiſſen inzwiſchen, daß die Ebene der Ekliptik durch die Einwirkungen der Planeten wirklich ihre Lage verändert. Die Größe dieſer Veränderung beträgt ungefähr 48 Sekunden in einem Jahrhundert, und ſie iſt von den Aſtronomen ſchon lange erkannt worden durch eine Zunahme der Breiten aller Sterne in einer gewiſſen Gegend des Himmels, und

durch eine entſprechende Abnahme derſelben in der entgegengeſezten Gegend. Durch dieſe Veränderung wird die Ekliptik jährlich um 0″,48 dem Aequator näher gebracht; aber nach dem, was wir oben geſehen haben, wird dieſe Verminderung der Schiefe der Ekliptik eine gewiſſe, ſehr mäßige Grenze nicht überſchreiten, nach deren Erreichung (was gleichwohl erſt nach einer unermeßlichen Zeitperiode, die ein zuſammengeſezter, aus der vereinigten Wirkung aller Planeten entſpringender Cyclus iſt, geſchehen wird) ſie dann wieder zunehmen wird. Auf dieſe Weiſe oſcillirt die Ekliptik dieſſeits und jenſeits um eine gewiſſe mittlere Stellung, wobei die Größe ihrer Ausweichung auf der einen und auf der andern Seite faſt 1° 21′ beträgt.

517) Eine von den Wirkungen dieſer Veränderung der Lage der Ekliptik, diejenige nämlich, vermöge welcher die Knoten derſelben auf einer feſten Ebene fortrücken, vermiſcht ſich mit der Präceſſion der Nachtgleichen (Art. 261) und läßt ſich von ihr nur durch die Theorie abſondern. Dieſe leztgenannte Erſcheinung beruht indeſſen auf einer andern Urſache, die zwar, aus einem allgemeinen Geſichtspunkte betrachtet, mit den oben in Erwägung gezogenen Aehnlichkeit hat, aber doch durch die Umſtände, unter welchen dieſe Erſcheinung entſteht, beſonders modifizirt wird. Wir wollen verſuchen, dieſe Modificationen begreiflich zu machen, in ſo weit ſolches ohne die Hülfe analytiſcher Formeln geſchehen kann.

518) Die Präceſſion der Nachtgleichen beſteht, wie wir im Art. 266 gezeigt haben, in einem beſtändigen Zurückſchreiten der Knoten des Erdäquators auf der Ekliptik, und ſie iſt demnach offenbar eine Erſcheinung, die in ſo weit mit dem allgemeinen Phänomen des Zurückgehens der Knoten der einen Bahn auf der andern Aehnlichkeit hat. Wegen der außerordentlichen Entfernung der Planeten, im Vergleich zu der Größe der Erde, und wegen der Kleinheit ihrer Maſſen, im Vergleich zu der der Sonne, kann aber die Wirkung von dieſen, bei der Erforſchung der Urſache dieſer Erſcheinung, offenbar nicht in Betracht kommen, und wir müſſen deshalb zu ihrer Erklärung unſere Blicke auf die große, obgleich ent-

fernte Sonne, und auf unſern nächſten, obgleich kleinen Nachbar, den Mond, richten. Hiernach werden wir dieſe Erklärung in dem ſtörenden Einfluſſe finden, den dieſe beiden Himmelskörper auf die am Aequator der Erde aufgehäufte Materie, durch welche ſie eine ſphäroidiſche Geſtalt erhalten hat, äußern, oder vielmehr in der Verbindung dieſes Einfluſſes mit der Rotation der Erde um ihre Axe. Die Entdeckung dieſer ſonderbaren Wirkungsart verdanken wir dem Scharfſinne Newton's.

519) Man nehme bei unſeren Figuren 63, 64 und 65 an, daß ſtatt eines einzigen Körpers P, der um S läuft, eine Reihenfolge von Theilchen vorhanden wäre, die nicht feſt zuſammenhängen, ſondern eine Art von flüſſigem Ring bilden, der ſeine Form durch irgend eine auf ihn wirkende Kraft ſogleich verändern kann. Wenn nun dieſer Ring ſich in ſeiner eigenen Ebene um S drehete, und zwar unter dem ſtörenden Einfluſſe eines entfernten Körpers M (der jezt den Mond oder die Sonne vorſtellt, ſo wie P eines von den Theilchen des Erdäquators,) ſo würden zwei Dinge ſtattfinden: 1) der Ring würde keine Ebene mehr bilden, ſondern eine wellenförmige Geſtalt annehmen, indem (Art. 512) diejenigen Theile deſſelben, die ſich innerhalb der Bögen V c und T d (Fig. 65) befinden, eine größere, die Theile innerhalb T c und V d aber eine geringere Neigung gegen die Ebene der Bahn von M erhalten würden, als ſie ohne die Einwirkung von M beſäßen. 2) Die Knoten dieſes als ein Ganzes betrachteten Ringes würden, ohne Rückſicht auf die Veränderung ſeiner Geſtalt, auf jener Ebene zurückgehen.

520) Denken wir uns aber, daß dieſer Ring, ſtatt aus nicht zuſammenhängenden Theilchen, die ſich von einander unabhängig bewegen können, zu beſtehen, feſt und einer ſolchen Biegung nicht fähig ſey, etwa wie der Reif, den wir im Art. 507 angenommen haben, ſo iſt einleuchtend, daß das Streben derjenigen Theile des Ringes, welche nach einer größern Neigung trachten, ſich in der Subſtanz des Ringes ſelbſt wie ein mechaniſches Triebwerk oder ein Hebel äußern wird, um dem Streben derjenigen Theile entgegen zu wirken, welche in dem nämlichen Augenblicke eine entgegengeſezte

Tendenz haben. Es wird folglich nur in ſo weit, als ein Ueberſchuß dieſer Beſtrebungen auf der einen oder auf der andern Seite vorhanden iſt, die Neigung ſich ändern, und mithin dieſe Aenderung, in jedem Momente der Bewegung des Ringes, ihrem Durchſchnittswerthe nach erhalten werden, gerade ſo, wie oben bei einem einzelnen geſtörten Körper, der ſich unter dem Einfluſſe eines in Ruhe befindlichen, ſtörenden bewegt, die Aenderung ſeiner Neigung im Durchſchnitt für jeden vollſtändigen Umlauf deſſelben erhalten wurde.

521) Unterdeſſen werden hierbei die Knoten des feſten Ringes zurückgehen, da jedes Theilchen deſſelben im Allgemeinen, oder im Durchſchnitt genommen, dieſe Tendenz hat. Wie bei der Neigung, ſo wird auch hier zwiſchen den widerſtreitenden Beſtrebungen der einzelnen Theilchen, welche eine in dieſer Hinſicht conträre Lage im Ringe haben, ein Kampf entſtehen, der ſich durch die feſte Subſtanz des ganzen Ringes fortpflanzt, wodurch in jedem Augenblicke eine mittlere Durchſchnittsbewegung der Knoten erzeugt wird, welche, da ſie ihrer Natur nach mit derjenigen identiſch iſt, die für den vollſtändigen Umlauf eines einzelnen geſtörten Körpers ſtattfindet, ſtets eine rückgängige ſeyn wird, mit alleiniger Ausnahme des Falles, wo der ſtörende Körper, ſey es die Sonne oder der Mond, in der Ebene des Erdäquators ſelbſt liegt, oder des Falles der Fig. 64.

522) Dieſe Schlußfolgerung iſt offenbar unabhängig von jeder nähern Betrachtung der Urſache, welche die Rotation des Ringes unterhält. Die Theilchen deſſelben können kleine Satelliten ſeyn, welche unter der Wirkung von Anziehungs- und Centrifugalkräften, die mit einander im Gleichgewicht ſtehen, in kreisförmigen Bahnen erhalten werden, oder wir mögen ſie uns als kleine Maſſen vorſtellen, welche an den Speichen eines imaginären Rades, das in S ſeinen Mittelpunkt hat, befeſtigt ſind, dabei aber durch eine auf die Ebene des Rades ſenkrechte Bewegung dieſer Speichen in den Stand geſezt werden können, die Ebenen, welche ſie beſchreiben, zu verrücken. Dieſes macht für den Effekt im Allgemeinen keinen

Unterſchied, obgleich die verſchiedenen Rotationsgeſchwindigkeiten, welche man einem ſolchen Syſteme ertheilen kann, einen ſehr großen Einfluß ſowohl auf die abſolute als relative Größe der beiden in Frage ſtehenden Effekte, nämlich der Bewegung der Knoten und der Veränderung der Neigung, haben können und werden. Man wird dieſes leicht einſehen, wenn man als Extrem annimmt, daß der Ring gar keine rotatoriſche Bewegung habe, in welchem Falle es einleuchtend iſt, daß, ſo lange als M unbeweglich bleibt, überhaupt gar kein Fortrücken des Knotens ſtattfinden wird, ſondern nur ein Streben des Ringes, ſeine Ebene um einen auf die Richtung der Poſition von M ſenkrechten Durchmeſſer deſſelben zu neigen, um ſie der Linie SM näher zu bringen.

523) Die Bewegung eines ſolchen Ringes, wie wir ihn uns vorgeſtellt haben, würde alſo, in ſo fern die Knoten deſſelben zurückgehen, die Präceſſion der Nachtgleichen nachahmen, nur mit dem Unterſchiede, daß dieſe rückgängige Bewegung ſeiner Knoten bei weitem raſcher ſeyn würde, als die beobachtete Präceſſion, die äußerſt langſam von ſtatten geht. Nun aber wollen wir uns dieſen Ring belaſtet denken, und zwar durch eine ſphäriſche Maſſe von ungleich größerer Schwere, als er ſelbſt, die innerhalb deſſelben eine mit ihm concentriſche Lage habe und feſt mit ihm verbunden ſey, die aber gegen jede ſolche Bewegungsurſache, wie die hier in Frage ſtehende, völlig, oder doch beinahe völlig indifferent bleibe; und außerdem wollen wir annehmen, daß, ſtatt eines einzigen ſolchen Ringes, eine große Menge derſelben rings um den Aequator einer ſolchen Kugel dergeſtalt auf und neben einander zuſammengehäuft ſey, daß durch ſie daſelbſt eine elliptiſche Erhöhung oder Hervorragung gebildet werde, welche die Kugel ringsum, wie eine Schale, umgebe, deren Geſammtmaſſe jedoch nur einen ſehr kleinen Theil von der des ganzen Sphäroids ausmache. Solchergeſtalt haben wir eine erträgliche Darſtellung der Erſcheinung, wie ſie uns die Natur darbietet; es leuchtet aber aus ihr hervor, daß die Geſchwindigkeit der rückgängigen Knotenbewegung dieſer Ringe, dadurch daß ſie jezt dieſe große träge Maſſe mit ſich fort zu

ſchleppen haben, verhältnißmäßig vermindert wird.*) Auf dieſe Art iſt es alſo leicht, ſich einen Begriff davon zu machen, wie eine ſolche, der Präceſſion ähnliche und ſich wie dieſe, durch außerordentliche Langſamkeit auszeichnende Bewegung aus den hierbei wirkenden Urſachen entſpringen kann.

524) Ein Fortrücken der Knoten des Aequators der Erde auf irgend einer gegebenen Ebene, entſpricht nun einer coniſchen Bewegung der Axe derſelben um ein auf dieſe Ebene gefälltes Perpendikel. In dem vorliegenden Falle iſt aber dieſe Ebene nicht die Ekliptik, ſondern es iſt die jedesmalige Ebene der Mondsbahn; und es entſteht jezt die Frage, wie ſich dieſes mit dem, was im Art. 266 über die Natur der fraglichen Bewegung der Erdaxe geſagt worden iſt, vereinigen läßt. Die Antwort hierauf iſt, daß, da die Knoten der Mondsbahn ſelbſt beſtändig und raſch zurückſchreiten, während die Neigung derſelben beinahe unverändert bleibt, derjenige Punkt an der Himmelskugel, um welchen der Pol der Erdaxe mit der, der Präceſſion eigenthümlichen Langſamkeit ſich dreht, ſelbſt eine Kreisbahn um den Pol der Ekliptik beſchreibt,

---

*) Daß eine vollkommene, homogene Kugel hinſichtlich einer Bewegung der Knoten ihres Aequators unter dem Einfluſſe eines entfernten anziehenden Körpers völlig träge und indifferent bleiben wird, erhellet daraus, daß die Richtung der Reſultante der Attractionen eines ſolchen Körpers, oder die Richtung der einzelnen Kraft, welche, jener entgegengeſezt, die ganze Wirkung derſelben neutraliſiren und aufheben würde, nothwendig in einer Linie liegt, die durch den Mittelpunkt der Kugel geht, und daß mithin kein Beſtreben vorhanden ſeyn kann, die Kugel auf die eine oder die andere Seite zu drehen. — Der Leſer könnte vielleicht den Einwurf machen, daß man ſich die ganze Kugel als aus Ringen beſtehend, vorſtellen könne, die jeden möglichen Durchmeſſer haben und ſämmtlich mit dem Aequator derſelben parallel laufen, und daß folglich ihre Knoten zurückgehen müſſen, ſelbſt ohne einen erhöhten Aequator. Dieſer Schluß iſt irrig, aber die uns vorgezeichneten Grenzen geſtatten es nicht, in eine nähere Erörterung ſeiner Unrichtigkeit einzugehen. Wir müſſen indeſſen im Allgemeinen daran erinnern, daß wohl kein Gegenſtand der Dynamik mehr Irrthümern dieſer Art ausgeſezt iſt, die, bei jeder Veränderung des Geſichtspunktes, nur durch die ſorgfältigſte Umſicht und Aufmerkſamkeit entdeckt werden können. —

und zwar mit jener weit größern Geſchwindigkeit, welche die Bewegung der Mondsknoten auszeichnet. Ein Blick auf Fig. 66 wird dieſes beſſer erläutern, als Worte. P iſt der Pol der Ekliptik, A der Pol der Mondsbahn, der in 19 Jahren den kleinen Kreis ABCD beſchreibt; a iſt der Pol des Erdäquators, der ſich in jedem Momente ſeines Forſchreitens in einer Richtung bewegt, die zu der veränderlichen Stellung der Linie Aa ſtets ſenkrecht iſt, und mit einer Geſchwindigkeit, welche von der veränderlichen Intenſität der wirkenden Urſachen während des Umlaufs der Mondsknoten abhängt. Da indeſſen dieſe Geſchwindigkeit ſehr gering iſt, ſo wird die Linie Aa, wenn A zu den Punkten B, C, D, E gekommen iſt, die Stellungen Bb, Cc, Dd, Ee angenommen haben, und der Erdpol a wird auf dieſe Art, nach einem tropiſchen Umlaufe des Mondsknotens, bis zu e gelangt ſeyn, wobei er keinen genauen Kreisbogen, ſondern eine einzelne Ausbiegung einer wellenförmigen oder epicycloidiſchen Curve, abcde, beſchrieben haben wird, mit einer Geſchwindigkeit, die abwechſelnd größer und kleiner iſt, als ſeine mittlere Bewegung; und dieſes wird ſich bei jedem folgenden Umlaufe des Mondsknotens wiederholen.

525) Dieſes iſt nun genau die Art und Weiſe, in welcher ſich, wie wir im Art. 272 geſehen haben, der Pol des Erdäquators um den Pol der Ekliptik wirklich bewegt, in Folge der vereinigten Wirkungen der Präceſſion und der Nutation, die auf ſolche Art uranographiſch dargeſtellt werden. Wenn wir der durch den Mond hervorgebrachten Präceſſion noch diejenige, die durch die Sonne bewirkt wird, hinzufügen (welche leztere, für ſich allein, den Erdpol einen Kreis um P gleichförmig beſchreiben laſſen würde,) ſo wird dieſes die Ausbiegungen unſerer wellenförmigen Curve nur in ſo fern afficiren, daß ſie ſich dadurch der Länge nach mehr ausdehnen, aber in der Tiefe der einzelnen Wellen, oder in der Quantität der Annäherung der Erdaxe an den Pol der Ekliptik und ihrer Wiederentfernung von demſelben, wird dadurch keine Veränderung erzeugt werden. Solchergeſtalt ſehen wir, daß die beiden Phänomene der Nutation und der

Präceſſion auf das innigſte mit einander verbunden, oder vielmehr, daß beide die weſentlichen Beſtandtheile einer und derſelben Erſcheinung ſind. Es wird kaum nöthig ſeyn, zu bemerken, daß durch eine ſtrenge Auflöſung dieſes großen Problemes, bei genauer Berechnung aller influirenden Kräfte und Summirung ihrer dynamiſchen Wirkungen,*) für die Conficienten der Präceſſion und Nutation ganz die nämlichen Werthe erhalten werden, welche ſich aus den Beobachtungen für dieſelben ergeben. Die Antheile, welche die Sonne und der Mond an der allgemeinen Präceſſion der Nachtgleichen haben, d. h. diejenigen Theile derſelben, welche der Zeit proportional ſind, verhalten ſich zu einander ungefähr wie 2 zu 5.

526) In der Nutation der Erdaxe haben wir ein Beiſpiel (das erſte dieſer Art, welches ſich uns darbietet) von der periodiſchen Bewegung eines Theils eines Syſtems, welche bei einem andern Theile deſſelben eine Bewegung hervorbringt, deren Periode genau von der nämlichen Dauer iſt, wie bei jenem Theile. Die Bewegung der Mondsknoten wird hier, wie wir ſehen, wenn gleich unter ganz verſchiedener Form, doch der Dauer ihrer Periode nach, genau dargeſtellt durch eine von ihr abhängige oſcillatoriſche Bewegung der ganzen Erdmaſſe. Wir dürfen hier die Gelegenheit nicht vorübergehen laſſen, das Princip, auf welchem dieſes Reſultat beruht, zu generaliſiren, da wir daſſelbe in jedem Theile der phyſiſchen Aſtronomie, ja ſelbſt in jedem Zweige der Naturwiſſenſchaft, durch unzählige Beiſpiele beſtätigt finden werden. Man kann es „das Princip der abhängigen Oſcillationen oder der abhängigen Vibrationen“ nennen, und folgendermaßen allgemein ausdrücken: —

Wenn in irgend einem Körperſyſteme, deſſen einzelne Theile entweder durch materielle Bande oder durch ihre wechſelſeitigen Anziehungen mit einander in Verbindung ſtehen, einer dieſer Theile durch irgend eine, entweder in der Einrichtung des Syſtems

*) Siehe Prof. Airy's Mathematical Tracts, zweite Ausgabe p. 200 ff.

ſelbſt liegende, oder ihm fremde Urſache, in einen Zuſtand regelmäßiger, periodiſcher Bewegung verſezt wird, ſo wird dieſe Bewegung ſich durch das ganze Syſtem hindurch fortpflanzen, und bei jedem andern Theile deſſelben ebenfalls eine Bewegung hervorbringen, deren Periode die nämliche Dauer hat, wie diejenige der erzeugenden Bewegung, obgleich es nicht nothwendig iſt, daß die Maxima und Minima dieſer Bewegungen gleichzeitig ſtattfinden.*)

Die Zuſammenſezung des Syſtems kann eine ſolche Fortpflanzung periodiſcher Bewegungen begünſtigen oder nicht, oder ſie kann ſie nur für einige Theile deſſelben begünſtigen, für andere dagegen nicht; und je nachdem das eine oder das andere ſtattfindet, wird die abgeleitete Oſcillation (wie man ſie nennen kann) das eine Mal ganz unmerklich ſeyn, ein anderes Mal eine merkbare Größe erlangen, und wieder ein anderes Mal ſich in ihren ſichtbaren Wirkungen ſogar noch auffallender zeigen, als die urſprüngliche Urſache derſelben. Von dem leztern Falle haben wir ein merkwürdiges Beiſpiel in der Beſchleunigung der mittlern Bewegung des Mondes, wie weiter unten angeführt werden wird.

527) Durch unſere Stellung auf der Erde und durch die große Genauigkeit, welche unſere Beobachtungen erlangt haben, ſind wir in den Stand geſezt, dieſelbe gewiſſermaßen als ein Werkzeug zu benuzen, vermittelſt deſſen wir dieſe abhängigen Vibrationen, dieſe abgeleiteten Bewegungen, die uns von verſchiedenen Theilen unſers Syſtemes, beſonders von unſerm nächſten Nachbar, dem Monde, mitgetheilt werden, bemerken können, etwa auf dieſelbe Weiſe, wie wir aus dem Zittern eines

*) Einen Beweis dieſes Theorems in Bezug auf die abhängigen Vibrationen ſolcher Syſteme, deren Theile durch materielle Bande von unvollkommener Elaſticität in Verbindung ſtehen, ſiehe in meiner Abhandlung über den Schall, Encycl. Metropol. Art. 323. Der Beweis kann leicht generaliſirt und auch auf andere Syſteme ausgedehnt werden. — Der Verfaſſer.

Brettes unter uns die unſichtbare Fortpflanzung der Bewegung erkennen, vermöge welcher der Ton einer Orgelpfeife durch die Luft verbreitet und dem Boden unter uns mitgetheilt wird. — So werden auch durch den monatlichen Umlauf des Mondes und durch die jährliche Bewegung der Sonne kleine Nutationen der Erdaxe erzeugt, die beziehungsweiſe Perioden von einem halben Monat und einem halben Jahre haben, von denen jede, nach der hier gewonnenen Anſicht der Sache, als die eine Hälfte einer Periode, die aus zwei gleichen und ähnlichen Theilen beſteht, betrachtet werden muß. Aber das bei weitem merkwürdigſte und zugleich für die Intereſſen der Menſchen wichtigſte Beiſpiel von dieſer Fortpflanzung periodiſcher Bewegungen finden wir in der Erſcheinung der Ebbe und Fluth. Es ſind dieſes abhängige Oſcillationen, die vermöge der Rotation der Erde in dem Oceane dadurch entſtehen, daß deſſen Gleichgewichtsform durch die veränderlichen Anziehungen der Sonne und des Mondes, während beide in ihrer eigenen Bahn fortſchreiten, geſtört wird, wobei ſich die bei ihnen ſtattfindenden Perioden vereinigt auf jene Erſcheinung fortpflanzen.

528) Viele finden eine beſondere Schwierigkeit darin, die Erſcheinungen der Ebbe und Fluth zu begreifen. Daß der Mond durch ſeine Anziehung im Stande iſt, die Gewäſſer des Oceans, über denen er gerade ſteht, zu erheben und aufzuthürmen, ſcheint den Meiſten ſehr natürlich; daß aber die nämliche Urſache ſie zu derſelben Zeit auch auf der entgegengeſezten Seite anhäuft, halten Viele für widerſinnig. Dennoch iſt nichts richtiger und in der That einleuchtender, als dieſes, wenn man bedenkt, daß nicht durch die Attraction, welche der Mond im Ganzen auf die Erde ausübt, ſondern durch die Unterſchiede der Attractionen, die an den beiden gegenüberliegenden Theilen der Oberfläche und am Mittelpunkte der Erde ſtattfinden, die Gewäſſer gehoben werden, d. h. alſo durch Kräfte, die genau dieſelbe Richtung haben, wie die Pfeile in unſerer Fig. 63, in welcher wir uns unter M den Mond, und unter P ein Waſſertheilchen auf der Oberfläche der Erde vorſtellen können. Ein Waſſertropfen, der für ſich allein exiſtirte, würde in Folge

der Attraction ſeiner einzelnen Theile eine ſphäriſche Geſtalt annehmen; und wenn wir dieſen Tropfen im leeren Raume unter dem Einfluſſe einer gleichförmigen Schwere frei herabfallen ließen, ſo würden ſeine Theilchen, da jedes derſelben eine gleichmäßige Beſchleunigung erführe, ihre gegenſeitige Lage beibehalten, und die ſphäriſche Geſtalt des Tropfens würde mithin ungeändert bleiben. Nehmen wir aber an, daß er unter dem Einfluſſe einer Attraction herabfalle, die frei auf jedes ſeiner Theilchen wirke und während des Fallens an Intenſität beſtändig zunehme, ſo werden diejenigen Theile, welche dem Attractionscentrum näher liegen, mehr angezogen werden, als die am Mittelpunkte des Tropfens befindlichen, und leztere wieder mehr, als die von jenem Centrum noch entferntern, ſo daß dadurch der ganze Tropfen nach der Richtung ſeiner Bewegung eine längliche Geſtalt annehmen muß, wobei jedoch dem Streben ſeiner Theile, ſich von einander zu trennen, durch die gegenſeitige Attraction, die ſie ſelbſt auf einander ausüben, entgegengewirkt, und ſolchergeſtalt eine Gleichgewichtsform für den Tropfen erhalten wird. Nun iſt die Erde in der That beſtändig in einem Zuſtande des Fallens gegen den Mond, indem ſie durch ihn fortwährend aus ihrer Bahn gezogen wird, und zwar die ihm näheren Theile derſelben mehr und die entferntern weniger, als die an ihrem Mittelpunkte liegenden; es wird folglich durch die Attraction des Mondes das auf beiden Seiten unter einem rechten Winkel mit der Richtung deſſelben vorhandene Waſſer ſich ſenken, und dagegen dasjenige, welches an den beiden Enden des in jener Richtung liegenden Durchmeſſers der Erde befindlich iſt, ſich erheben. Die Geometrie beſtättigt dieſe Anſicht der Sache und zeigt, daß die Gleichgewichtsform, welche eine Waſſerſchichte, die einen ſphäriſchen Körper einhüllt, unter dem Einfluſſe der Anziehung des Mondes annehmen wird, diejenige eines länglichen Ellipſoids iſt, deſſen nach dem Monde gerichtete halbe große Axe etwa um 58 Zolle länger iſt, als die auf dieſer Richtung ſenkrechte, halbe kleine Axe deſſelben.

529) Dieſes Ellipſoid findet indeſſen niemals Zeit genug, um ſich vollkommen zu bilden. Noch ehe die Ge-

wäſſer ſich ins Gleichgewicht ſtellen können, iſt der Mond in ſeiner Bahn, ſowohl in ſeiner täglichen als in ſeiner monatlichen (denn es wird, der größern Deutlichkeit wegen, bei dieſer Lehre zweckmäßig ſeyn, die tägliche Umdrehung der Erde um ihre Axe in entgegengeſezter Richtung auf den Mond um die Sonne zu übertragen,) ſchon weiter vorgeſchritten, der Scheitel des Ellipſoids iſt auf der Oberfläche der Erde fortgerückt, und der Ocean muß ſich eine neue Gleichgewichtslage ſuchen. Hierdurch wird nicht etwa ein die Erde umkreiſender Strom, ſondern vielmehr eine Woge von unermeßlicher Ausdehnung und nur ſehr geringer Tiefe hervorgebracht, welche den ſcheinbaren Bewegungen des Mondes folgt, oder zu folgen ſtrebt, und ſie muß in der That, wenn das Princip der abhängigen Vibrationen richtig iſt, alle periodiſchen Ungleichheiten der Mondsbewegung durch Oſcillationen von gleichen, wenn auch nicht gleichzeitigen, Perioden nachahmen. Sobald die höhern oder niedrigern Theile dieſer Woge unſere Küſten treffen, haben wir diejenigen Erſcheinungen, welche wir Fluth und Ebbe nennen.

530) Auch die Anziehung der Sonne bringt eine, der durch den Mond bewirkten ganz ähnliche Woge hervor, deren Scheitel der ſcheinbaren Bewegung der Sonne am Himmel zu folgen und die periodiſchen Ungleichheiten derſelben wiederzugeben ſtrebt. Dieſe beiden, durch den Mond und die Sonne erzeugten Wogen exiſtiren zu gleicher Zeit, und ſie werden alſo, je nach der gegenſeitigen monatlichen Stellung dieſer beiden Himmelskörper, zuweilen über einander zu liegen kommen oder ſich miteinander verbinden, zuweilen ſich theilweiſe neutraliſiren. Hieraus entſteht die ſogenannte hohe und niedrige Fluth, von denen erſtere die Summe, und leztere die Differenz der beiden, vom Monde und von der Sonne herrührenden Fluthen iſt. Obgleich es noch zur Zeit kaum möglich iſt, die wahre Größe jeder dieſer beiden Fluthen durch eine genaue Berechnung auszumitteln, ſo iſt es doch ſehr wahrſcheinlich, daß ſie, an einem jeden Orte, nahe in demſelben Verhältniſſe zu einander ſtehen, wie die Verlängerungen der beiden Ellipſoide, welche ſich durch die Wirkungen des Mondes und der Sonne bilden würden,

wenn eine Gleichgewichtsform erreicht werden könnte. Nun betragen jene beziehungsweiſe etwa 5 und 2 Fuß, ſo daß im Durchſchnitt die hohe Fluth ſich zur niedrigen verhalten wird, ungefähr wie 7 zu 3.

531) Eine andere Wirkung des Umſtandes, daß die beiden, vom Monde und von der Sonne abhängigen Fluthen ſich mit einander verbinden, iſt die **Beſchleunigung** und **Verſpätung** der Fluthen. Wäre der Mond allein vorhanden, und bewegte er ſich in der Ebene des Aequators, ſo würde der Fluthtag (d. h. die Zwiſchenzeit, welche verfließt, bis der nämliche Scheitel der Fluthwoge zu derſelben Stelle der Erdoberfläche zurückkehrt) dem Mondstage (Art. 115) gleich ſeyn, der aus der Verbindung der täglichen Umdrehung der Erde um ihre Axe mit dem Fortrücken des Mondes gegen die Fixſterne entſpringt. Eben ſo würde, wenn die Sonne allein exiſtirte und ſich beſtändig im Aequator bewegte, der Fluthtag dem mittlern Sonnentage gleich ſeyn. Der wirkliche Fluthtag, oder die Zwiſchenzeit zwiſchen zwei auf einander folgenden Fluthmaximis, welche ſich aus der Vereinigung der beiden Separatfluthen ergeben, wird mithin, je nachdem dieſe auf eine Coincidenz zugehen oder von ihr herkommen, veränderlich ſeyn, weil, wenn die Scheitel der beiden Wogen nicht zuſammenfallen, das Maximum der vereinigten Höhe der leztern an einem zwiſchen jenen Scheiteln liegenden Punkte ſtattfinden wird. Dieſe Verſchiedenheit in den Längen der auf einander folgenden Fluthtage macht ſich beſonders um die Zeiten des Neu- und Vollmondes bemerklich.

532) Von einer ganz andern Urſache rührt aber der Unterſchied her, der in einem jeden Hafen zwiſchen dem Momente der Ebbe und Fluth und demjenigen der Culmination des Mondes und der Sonne, oder demjenigen des theoretiſchen Maximums der vereinigten Höhe der beiden Fluthwogen, ſtattfindet, und welchen man das **Etabliſſement** jenes Hafens oder die **Hafenzeit** nennt. Beſäße das Waſſer keine Trägheit, und hätte es nicht allerhand Hinderniſſe zu überwinden, wie z. B. die Reibung am Meeresbette, die Länge und geringe Weite mancher Kanäle, durch welche die Fluthwoge ſich

hindurchdrängen muß, ehe ſie zum Hafen gelangt, u. ſ. w. — ſo würde zwiſchen den vorhin erwähnten Zeitmomenten kein Unterſchied ſtattfinden. Aber alle dieſe Urſachen tragen dazu bei, eine ſolche Differenz zu erzeugen, und zu bewirken, daß dieſelbe nicht in allen Häfen die nämliche iſt. Die Beobachtung der Hafenzeiten iſt ein Gegenſtand von hoher Wichtigkeit für die Marine; aber auch in theoretiſcher Hinſicht iſt ſie von nicht geringerem Intereſſe, da ſie zu einer nähern Kenntniß des Geſezes der Vertheilung der Fluthwogen auf der Erdoberfläche Vieles beiträgt.*) Bei der Anſtellung ſolcher Beobachtungen muß man Sorge tragen, nicht die Zeiten des ſtehenden Waſſers, wenn nämlich der durch die Ebbe und Fluth verurſachte Strom aufhört, ſichtbar nach der einen oder der andern Seite hinzufließen, mit den Zeiten der Ebbe oder der Fluth ſelbſt zu verwechſeln, in denen das Niveau des Waſſers aufhört, zu fallen oder zu ſteigen. Dieſe Erſcheinungen ſind durchaus von einander verſchieden und hängen auch von ganz verſchiedenen Urſachen ab, obgleich ſie manchmal der Zeit nach zuſammenfallen können. Es iſt ſehr zu beſorgen, daß die Leute, welche dieſe Erſcheinungen notiren, dieſelben nur zu oft verwechſeln, was offenbar die größte Verwirrung bei jedem Verſuche, das Phänomen der Ebbe und Fluth auf beſtimmte, klare Geſeze zurückzuführen, hervorbringen muß.

533) Die Deklinationen des Mondes und der Sonne üben auf die Ebbe und Fluth in jedem Hafen einen weſentlichen Einfluß aus. Da der Scheitel der Fluthwoge ſich vertikal unter denjenigen der beiden Himmelskörper, durch welchen ſie hervorgebracht wird, zu ſtellen ſucht, ſo muß ſich, der Veränderung der Stellung dieſes Him-

*) Die neueren Unterſuchungen des Hrn. Lubbock, ſo wie diejenigen, mit denen ſich Hr. Whewell beſchäftigt, werden hoffentlich nicht allein mehr Licht über die noch ſehr dunkele Lehre von der Ebbe und Fluth verbreiten, ſondern auch (was gegenwärtig am meiſten Noth thut) die Aufmerkſamkeit der Beobachter erwecken, und zu gleicher Zeit durch genaue Angabe deſſen, was eigentlich Gegenſtand der Beobachtungen ſeyn muß, den lezteren diejenige wahre Richtung geben, ohne welche eine jede Beobachtung verlorene Mühe und Arbeit iſt.

melskörpers gemäß, auch die Lage der durch ihn erzeugten Fluthwoge auf der Erdoberfläche ändern, wodurch ſich, in Perioden von einem Monat und einem Jahre, die mittlere Größe der Ebbe und Fluth an jedem Orte abwechſelnd vermehren und vermindern wird. Auf dieſe Art kommen hierbei auch die Knoten der Mondsbahn in Betrachtung, da während ihres periodiſchen Umlaufs der Mond ſich zu einer Zeit bis auf 29° und zu einer andern nur bis auf 17° auf beiden Seiten vom Aequator entfernt.

534) Die Geometrie zeigt, daß die Wirkſamkeit eines anziehenden Himmelskörpers bei dem Emporheben der Gewäſſer ſich umgekehrt verhält, wie der Cubus ſeiner Entfernung. Die Abſtände des Mondes und der Sonne von der Erde ſind aber, vermöge der Ellipticität ihrer Bahnen, bald größer, bald kleiner, als ihre mittleren Entfernungen. Es folgt hieraus, daß die Wirkung der Sonne, wenn man die mittlere Größe derſelben = 20 annimmt, zwiſchen den Werthen 19 und 21, und diejenige des Mondes zwiſchen den Werthen 43 und 59 veränderlich iſt. Bringt man demnach dieſe Unterſchiede mit in Rechnung, ſo zeigt ſich nach Art. 530, daß die höchſte Fluth ſich zur niedrigſten verhalten kann, wie 59 + 21 zu 43 — 21, oder wie 80 zu 22. Unter allen Urſachen, welche die Höhe der Fluthen modificiren, hat indeſſen keine einen größern Einfluß hierauf, als die örtliche Lage. An einigen Orten, wo die Fluthwoge auf einen engen Kanal ſtößt, ſteigt ſie plözlich zu einer außerordentlichen Höhe. Z. B. bei Annapolis, in der Bay von Fundy, ſoll ſie eine Höhe von 120 Fuß erreichen.*) Selbſt in Briſtol beträgt der Unterſchied zwiſchen der Fluth und Ebbe manchmal 50 Fuß.

535) Auch in der Atmoſphäre werden auf gleiche Weiſe durch die Wirkung der Sonne und des Mondes Ebbe und Fluth erzeugt, welche man durch ſehr feine Beobachtungen erkannt und gemeſſen hat. Dieſe Wirkungen ſind jedoch äußerſt geringfügig.

536) Wir kehren jezt zu den Störungen der Planeten

---

*) Siehe Robinson's Lectures on Mechanical Philo ophie.

zurück. Zunächſt wollen wir die Veränderungen in Betrachtung ziehen, welche durch die gegenſeitige Einwirkung der Planeten, bei verſchiedenen Stellungen derſelben gegen einander, ſowohl hinſichtlich der Größe und Geſtalt ihrer Bahnen, als auch des Ortes, den ſie in denſelben einnehmen, hervorgebracht werden. Indeſſen wird es zuvörderſt zweckmäßig ſeyn, die ſowohl von den Geometern als von den Aſtronomen befolgte Verfahrungsweiſe zu erläutern, nach welcher ſie nämlich auch bei den geſtörten Bahnen ſich der Ausdrücke und der Geſeze der elliptiſchen Theorie bedienen und dieſe fortwährend auf ſie anwenden, obgleich ſolche geſtörten Bahnen, mathematiſch ſtreng genommen, weder Ellipſen, noch irgend ſonſt bekannte Curven ſind. Der Grund dieſes Verfahrens liegt theils in der Einfachheit der Begriffe und in der Leichtigkeit der Berechnung, durch welche ſich die Theorie der Ellipſe auszeichnet, theils aber ganz beſonders darin, weil man gefunden hat und auch aus den hier ſtattfindenden dynamiſchen Relationen es beweiſen kann, daß die Abweichung eines jeden Planeten von ſeiner Ellipſe, wie ſie für irgend eine Epoche beſtimmt worden iſt, wirklich dargeſtellt werden kann durch die Annahme, daß die Ellipſe ſelbſt allmähligen Veränderungen unterworfen ſey, daß nämlich, gewiſſen Geſezen gemäß, ihre Größe und Excentricität ſich verändere, und ſowohl ihre Stellung in der Ebene, in welcher ſie liegt, als auch dieſe leztere ſelbſt, ſich verrücke, wobei der Planet ſich beſtändig in dieſer veränderlichen Ellipſe bewegt, gerade ſo, wie er ſich, wenn keine ſtörenden Kräfte vorhanden wären, in der unveränderten Ellipſe fortbewegen würde. Indem man die Sache auf dieſe Art betrachtet, nimmt man an, daß die ſtörenden Kräfte ihre fortdauernde volle Wirkung auf die einzelnen Elemente der Bahn äußern, während die Relationen des Planeten zu ſeiner Bahn die nämlichen bleiben, oder nur Veränderungen erfahren, die von ſehr kurzer, verhältnißmäßig momentaner Dauer ſind. Dieſe Verfahrungsweiſe iſt in der That nicht allein höchſt natürlich, ſondern ſie dringt ſich uns auch gewiſſermaßen von ſelbſt auf durch die außerordentliche Langſamkeit, mit welcher die Veränderungen der Elemente

vor ſich gehen. So ändert ſich z. B. der Bruch, welcher die Excentricität der Erdbahn ausdrückt, um nicht mehr, als 0,00004 während eines ganzen Jahrhunderts, und der Ort ihres Periheliums, auf die Himmelskugel bezogen, in dem nämlichen Zeitraume nur um 19′ 39″. Während einiger Jahre würde es alſo beinahe unmöglich ſeyn, eine ſo wenig veränderte Ellipſe von einer gar nicht veränderten überhaupt nur zu unterſcheiden; und nach einem einzelnen Umlaufe würde der Unterſchied zwiſchen der anfänglichen Ellipſe und der wirklich veränderten ſo außerordentlich gering ſeyn, daß, wenn man beide auf eine Tafel von ſechs Fuß im Durchmeſſer genau aufzeichnete, die ſchärfſte Unterſuchung mit Mikroſkopen im ganzen Umkreiſe der beiden Curven kaum einen merkbaren Zwiſchenraum zwiſchen ihnen entdecken laſſen würde. Eine Bewegung in einer Curve, die ſich ſo äußerſt nahe an eine Ellipſe anſchließt, nicht elliptiſch nennen zu wollen, würde Ziererei ſeyn, ſelbſt wenn man das Vorhandenſeyn unbedeutender Abweichungen, die abwechſelnd in dem einen und in dem andern Sinne ſtattfinden, zugibt; wogegen es andererſeits abſichtliche Blindheit genannt werden müßte, eine Veränderung gänzlich zu vernachläßigen, die von Jahr zu Jahr immer größer wird und dadurch von ſelbſt ſich unſerer Erkenntniß aufdringt.

537) Die Geometer haben es daher zweckmäßig und vortheilhaft gefunden, die Bewegung eines jeden Planeten während eines einzelnen Umlaufs deſſelben, oder für irgend einen zweckmäßigen Zeitraum, als elliptiſch und nach den Kepler'ſchen Geſezen vor ſich gehend zu betrachten, vorbehaltlich gewiſſer, ſehr kleiner und vorübergehender Abweichungen; zu gleicher Zeit aber nehmen ſie an, daß ſämmtliche Elemente einer jeden Ellipſe ſich beſtändig, obgleich mit äußerſter Langſamkeit ändern, und bei der Beſtimmung des Einfluſſes der Störungen auf das Planetenſyſtem halten ſie ſich hauptſächlich, oder ſelbſt ausſchließlich, gerade an dieſe Veränderung der Elemente, von welcher in der That alle weſentlichen Modifikationen in der Zuſammenſezung des Syſtems definitiv abhängig ſind.

538) Hier kommen wir nun auf den Unterſchied, den man zwiſchen denjenigen Veränderungen, die man Säcular-Aenderungen nennt, und jenen machen muß, welche eine mäßige Periode haben und ſich nach kurzen Zeiträumen wieder ausgleichen. Wir zeigten z. B. bei unſerer Erörterung der Veränderung der Neigung einer geſtörten Bahn, (Art. 514) daß während jedes einzelnen Umlaufs des geſtörten Körpers die Ebene ſeiner Bahn, rückſichtlich ihrer Neigung gegen diejenige des ſtörenden Körpers, abwechſelnden Schwankungen unterliegt, welche ſich beinahe gegenſeitig wieder aufheben; es bleibt indeſſen hierbei ein Theil der Veränderung übrig, der ſeinerſeits nach einem ganzen Umlaufe des ſtörenden Körpers nahezu, jedoch nicht gänzlich ausgeglichen wird, ſondern abermals einen kleinen Unterſchied zurückläßt, welcher zu ſeiner völligen Ausgleichung einen ganzen Umlauf des Knotens erfordert, nach deſſen Vollendung die Neigung wieder ihre urſprüngliche mittlere Größe erlangt. Die zwei erſten Ausgleichungen werden dadurch bewirkt, daß beide Planeten nach und nach in jede Configuration zu einander kommen, was in verhältnißmäßig kurzen Perioden geſchieht, und man nennt daher die Aenderungen, welche auf dieſe Art ausgeglichen werden, **periodiſche**, oder **von den Configurationen abhängige Aenderungen**. Die lezte Ausgleichung dagegen, welche erſt nach einem Umlaufe des Knotens (eines von den **Elementen** der Bahn) erfolgt und nicht von der gegenſeitigen Stellung der Planeten ſelbſt abhängig iſt, erfordert zu ihrer gänzlichen Vollführung einen unermeßlichen Zeitraum, und die hierdurch ſich ausgleichende Aenderung wird, zum Unterſchiede mit den vorigen, **Säcularänderung** genannt.

539) Um die Bewegungen eines geſtörten Körpers, ſey es ein Planet oder ein Satellit, genau darzuſtellen, müſſen allerdings ſowohl die periodiſchen als die Säcularänderungen der Elemente, oder die ihnen beiden entſprechenden Ungleichheiten in der Bewegung, berückſichtigt werden; und zwar die erſtern eigentlich noch mehr, als die leztern, indem wir ſehen, daß die Säcularungleichheiten in der That nichts anderes ſind, als der Unterſchied,

der nach der gegenſeitigen Aufhebung der oftmals in ihrem Betrage viel bedeutendern periodiſchen Ungleichheiten noch übrig bleibt. Aber dieſe ſind ihrer Natur nach vorübergehend und temporär; ſie verſchwinden wieder und laſſen keine bleibende Spur von ſich zurück. Durch ſie wird der Planet auf kurze Zeit von ſeiner Bahn (das h. von ſeiner ſich langſam ändernden Bahn) abgelenkt, zu der er jedoch bald wieder zurückkehrt, um ſich auf der andern Seite eben ſo weit von ihr zu entfernen, während die veränderliche Bahn ſelbſt zwiſchen dieſen Ausbiegungen auf beiden Seiten derſelben das Mittel hält, und auf dieſe Art, in der Reihenfolge der Jahrhunderte, von den, im Verlaufe derſelben von dem Planeten eingenommenen mittleren Stellungen ein Bild liefert, in welchem die charakteriſtiſchen Kennzeichen ſeiner Bewegung geblieben, die einzelnen beſondern Modifikationen derſelben aber verſchwunden ſind. Dieſe periodiſchen Ungleichheiten ſind indeſſen, wie wir bereits bemerkt haben, keineswegs zu vernachläßigen; ſie werden vielmehr, unabhängig von den Säcularänderungen der Elemente, beſonders berückſichtigt.

540) Um bei unſerm Beſtreben, dem Leſer eine nähere Einſicht in beide Arten von Aenderungen zu verſchaffen, Verwickelungen zu vermeiden, wollen wir hinfort annehmen, daß alle Bahnen in einer und derſelben Ebene liegen, und unſere Aufmerkſamkeit nur auf den Fall von zwei Bahnen, die des geſtörten und des ſtörenden Körpers, beſchränken, wonach die Unterſuchung dieſelbe ſeyn wird, wie bei den Störungen des Mondes durch die Sonne. Hierbei können wir einen von den Körpern nach unſerm Belieben als feſt betrachten, vorausgeſezt, daß wir die Bewegungen deſſelben, als in entgegengeſezter Richtung auf jeden der andern Körper übertragen, uns vorſtellen. Es ſey alſo (Fig. 67) S der Centralkörper, M der ſtörende und P der geſtörte Körper. Alsdann wirkt die Anziehung von M auf P in der Richtung PM, und auf S in der Richtung SM. Hiernach wird der ſtörende Theil der Attraction von M, welcher in dem Unterſchiede der beiden eben genannten Anziehungen beſteht, keine beſtändige oder feſte Richtung haben, ſondern auf P ſehr ver-

ſchiedenartig wirken, je nach den gegenſeitigen Stellungen von P und M. Es wird deshalb zu einer nähern Unterſuchung der Wirkungen dieſer Kraft nothwendig ſeyn, dieſelbe nach den Grundſäzen der Mechanik in Kräfte zu zerlegen, welche nach gewiſſen beſtimmten Richtungen wirken, wie z. B. nach der Richtung des Radius Vector SP, und nach der auf dieſer ſenkrechten Richtung. Der kürzeſte Weg, um dieſe Zerlegung zu erlangen, wird ſeyn, jede einzelne der beiden Anziehungen von M, ſowohl diejenige auf S als diejenige auf P, nach dieſen zwei Richtungen zu zerlegen, und für jede der lezteren den Unterſchied jener beiden Anziehungen zu nehmen, welcher die ſtörende Kraft von M nach jeder von dieſen beiden Richtungen ſeyn wird. Auf dieſe Art werden wir zwei verſchiedenartige ſtörende Kräfte erhalten: eine, welche wir die Tangentialkraft nennen wollen, die in der Richtung PQ, ſenkrecht auf SP, mithin in der Richtung einer Tangente der Bahn von P wirkt, inſofern man leztere nahezu als kreisförmig annimmt; und die andere, welche man die ſtörende Radialkraft nennen kann, die den Körper P beſtändig in der Richtung SP entweder S näher zu bringen oder von ihm zu entfernen ſtrebt.

541) Die erſtere Kraft für ſich allein iſt diejenige, welche auf die Gleichheit der Flächenräume, die P um S in gleichen Zeiten beſchreibt (Art. 419) ſtörend einwirkt, und ſie iſt demnach die Haupturſache der Abweichungen der wirklichen Winkelbewegung des Körpers P von derjenigen, die nach der elliptiſchen Theorie ſtattfinden würde. Denn die gleichförmige Beſchreibung der Flächenräume um irgend ein Centrum hängt nicht von dem beſondern Geſeze der Intenſität der Centralkraft ab, ſondern erfordert nur, daß die wirkende Kraft, welches auch ihre Intenſität ſeyn möge, immer nach jenem Centrum gerichtet ſey; und eine jede Kraft, welche dieſer Bedingung nicht Genüge leiſtet, muß auf das gleichförmige Beſchreiben der Flächenräume einen ſtörenden Einfluß äußern.

542) Auf der andern Seite kann die radiale ſtörende Kraft, da ihre Richtung beſtändig durch das Centrum geht, das gleichförmige Beſchreiben der Flächenräume

nicht afficiren; weil aber die Veränderung ihrer Intenſität ſich nicht nach jenem einfachen Gravitationsgeſeze richtet, in Folge deſſen die Bahnen eine elliptiſche Geſtalt erhalten, ſo wird die Wirkung derſelben darin beſtehen, dieſe Geſtalt zu modificiren. Da ſie nämlich verurſacht, daß der geſtörte Körper ſich bald dem Centrum mehr nähert, bald weiter von ihm entfernt, als die Geſeze der elliptiſchen Bewegung es zulaſſen würden, und daß die Punkte der größten Nähe und weiteſten Entfernung eine andere Lage erhalten, als ſie in der ungeſtörten Bahn haben würden, ſo geht ihr Streben dahin, die Größe der Ellipſe des geſtörten Körpers, ihre Excentricität und die Lage der Axe derſelben abzuändern.

543) Wenn wir die Veränderungen der Tangentialkraft bei den verſchiedenen gegenſeitigen Stellungen von M und P näher betrachten, ſo werden wir finden, daß dieſelbe im Allgemeinen verſchwindet, ſobald P (Fig. 67) ſich in A oder C, d. h. in der Conjunktion oder in der Oppoſition mit M befindet, und eben ſo auch bei den zwei Punkten B und D, in welchen M gleiche Entfernung von S und P hat, oder ſehr nahe in den Quadraturen von P mit M. Ferner wird ſie zwiſchen A und B, oder zwiſchen A und D, den Körper P dem Punkte A zu nähern ſuchen, und in dem übrigen Theile der Bahn wird dieſes Streben nach C hingerichtet ſeyn. Die Wirkung der Tangentialkraft im Allgemeinen wird alſo darin beſtehen, daß ſie, während P von A an einen vollſtändigen ſynodiſchen Umlauf in ſeiner Bahn macht, zuerſt ſeine Bewegung von A bis B verzögert, alsdann ſie beſchleunigt, bis er nach C gelangt, zwiſchen C und D ſie abermals verzögert, und von D an ſie wiederum beſchleunigt, bis P zu ſeiner Conjunktion in A zurückkommt.

544) Wäre ſowohl die Bahn von P, als diejenige von M, ein vollkommener Kreis, ſo würde offenbar die Verzögerung der Bewegung, welche während der Zurücklegung des Bogens AB ſtattfindet, durch die innerhalb des Bogens DA eintretende Beſchleunigung derſelben genau ausgeglichen werden, indem dieſe Bögen einander vollkommen gleich wären, und in Bezug auf die ſtörende Kraft eine ganz ähnliche Lage hätten; eben ſo würde

auch die Beſchleunigung innerhalb des Bogens BC durch die Verzögerung längs CD genau ausgeglichen werden. Für jeden vollſtändigen Umlauf von P würde demnach im mittleren Durchſchnitt eine Ausgleichung in ſeiner Bewegung ſtattfinden, die Umlaufszeit deſſelben würde ungeändert bleiben, und alle Längenfehler würden ſich gegenſeitig aufheben.

545) Dieſe genaue Ausgleichung hängt indeſſen augenſcheinlich von der vollkommen ſymmetriſchen Lage der einzelnen Theile beider Bahnen auf beiden Seiten der Linie CSM ab. Wird dieſe Symmetrie aufgehoben, ſo kann jene Ausgleichung nicht mehr ſtattfinden, und es werden ſich in der Bewegung von P Ungleichheiten zeigen, deren Wirkung über die Dauer eines einzelnen Umlaufs hinausreicht, und deren Ausgleichung, wenn ſie überhaupt jemals eintreten ſollte, nur durch eine Umkehrung der Configurationsverhältniſſe, aus denen ſie entſprungen ſind, hervorgebracht werden kann. Nehmen wir z. B. an, daß, während die Bahn von P kreisförmig iſt, diejenige von M elliptiſch ſey, und daß in dem Augenblick, in welchem P den Punkt A verläßt, M ſeine größte Entfernung von S erlangt habe; ferner, daß der Abſtand des Körpers M ſo groß ſey, daß dieſer nur einen geringen Theil ſeiner Bahn während eines ganzen Umlaufs von P zurücklege. Alsdann iſt einleuchtend, daß während des Umlaufs von P die ſtörende Kraft von M, vermöge ſeiner Wiederannäherung, im Zunehmen begriffen iſt, und daß folglich die Störung, welche die Bewegung von P in jedem folgenden Quadranten ſeiner Bahn erfährt, diejenige, die ſie in dem vorhergehenden Quadranten erlitt, übercompenſiren wird; ſo daß, wenn P wieder mit M in Conjunktion gekommen iſt, im Ganzen eine Uebercompenſation zu Gunſten einer Beſchleunigung der Bewegung von P erfolgt ſeyn wird. Das nämliche Reſultat wird ſo lange ſtattfinden, als M fortfährt, ſich S zu nähern; ſobald er aber bei dem Fortſchreiten in ſeiner elliptiſchen Bahn anfängt, ſich wieder von S zu entfernen, wird auch eine umgekehrte Wirkung eintreten, und eine Verzögerung der Bewegung von P nach jedem Umlaufe deſſelben erfolgen. Dieſes wird abwechſelnd ſo

fortgehen, bis endlich nach einer großen Anzahl von Umläufen von M, während welcher die Conjunktion von P bei allen möglichen Entfernungen deſſelben von M ſtattgefunden hat, unter allen den aufeinander folgenden, theils zu ſtarken, theils zu geringen Compenſationen eine Ausgleichung von einer höhern Ordnung eintritt, und hierdurch nach einem mittlern Durchſchnitte die Winkelbewegung ſich wieder ſo herſtellt, als ob gar keine Störung derſelben ſtattgefunden hätte.

546) Wenn die Bahn des geſtörten Körpers ebenfalls als elliptiſch angenommen wird, ſo iſt der Fall wohl etwas verwickelter, aber die Schlußfolge ſehr nahe dieſelbe. In einer elliptiſchen Bahn iſt die Winkelbewegung nicht gleichförmig; der geſtörte Körper verweilt alſo, unter dem Einfluſſe der beſchleunigenden und verzögernden Tangentialkräfte, in einigen Theilen ſeiner Bahn eine längere, in andern eine kürzere Zeit, als zu einer genauen Ausgleichung erforderlich iſt. Hier wird demnach, allein ſchon aus dieſer Urſache und unabhängig von einer Annäherung oder Weiterentfernung des Körpers M, keine vollſtändige Compenſation erfolgen, ſondern am Ende eines jeden ſynodiſchen Umlaufs eine unausgeglichene Störung übrig bleiben; und wenn die Conjunctionen immer an der nämlichen Stelle der Ellipſe von P ſtattfänden, ſo würde jene Urſache beſtändig in einerlei Sinne wirken, und hierdurch eine Ungleichheit entſtehen, die keine Ausgleichung fände, ſondern zulezt eine bleibende Aenderung der mittlern Winkelbewegung von P bewirkte. Aber dieſer Fall kann in dem Planetenſyſteme niemals eintreten. Die mittleren Bewegungen der Planeten (d. h. ihre mittleren Winkelgeſchwindigkeiten) können nicht die eine durch die andere gemeſſen werden, ſondern ſie ſind, wie man es nennt, zu einander incommenſurabel. Es gibt z. B. nicht zwei Planeten, von denen der eine ſeine Bahn in einer Zeit beſchriebe, die genau das doppelte, oder dreifache u. ſ. w. der Umlaufszeit des andern betrüge, oder von denen der eine genau zwei Umläufe vollendete, während der andere genau drei, oder fünf Umläufe machte, u. ſ. w. Fände dieſes ſtatt, ſo würde der frag-

liche Fall eintreten. Wenn z. B. die mittleren Bewegungen des geſtörten und des ſtörenden Planeten ſich genau zu einander verhielten, wie zwei zu fünf, ſo würden ſie nach einem Zeitraume von fünf der kürzern Umlaufszeiten, oder zwei der längern, genau wieder in dieſelbe gegenſeitige Stellung kommen. Nach jedem ſolchen Zeitraume würde demnach die Conjunktion dieſer Planeten genau wieder auf die nämlichen Punkte ihrer Bahnen fallen, und die innerhalb dieſes Zeitraumes bei anderen Punkten ſich ereignenden Conjunktionen, würden nach Verfluß derſelben Periode gleichfalls wieder bei eben dieſen Punkten eintreten. Auf dieſe Art würde alſo wirklich der vorhin erwähnte Fall ſtattfinden, welcher, wie wir geſehen haben, eine bleibende, unausgeglichene Aenderung der mittlern Bewegung zur Folge haben würde.

547) Obgleich es nun allerdings nicht zwei Planeten gibt, deren mittlere Bewegungen genau commenſurabel ſind, ſo fehlt es doch auch nicht an Fällen, in denen ein ſolches Verhältniß wenigſtens näherungsweiſe ſtattfindet. Insbeſondere iſt dieſes der Fall bei dem Jupiter und Saturn, bei denen jene Periode, die wir vorhin in unſerm Beiſpiele angenommen haben, nämlich eine Periode, die aus fünf Umläufen des Jupiter, oder zweien des Saturn beſteht, dieſe beiden Planeten zwar nicht g e n a u, aber doch ziemlich nahe in dieſelben Configurationen zurückbringt. Fünf Umläufe des Jupiter betragen 21663 Tage, und zwei Umläufe des Saturn 21518 Tage. Der Unterſchied iſt nur 145 Tage, in denen Jupiter etwa 12° und Saturn 5° durchläuft, ſo daß nach Verfluß des erſtern Zeitraums beide Planeten bis auf den geringen Unterſchied von 5 Graden wieder zu den nämlichen Punkten ihrer Bahnen gelangen, bei denen die frühere Conjunktion ſtattfand. Da zu einem ſynodiſchen Umlaufe dieſer beiden Planeten im mittlern Durchſchnitt 7253,4 Tage erforderlich ſind, ſo werden drei ſolcher Umläufe in 21760 Tagen vollendet. Während dieſes Zeitraums wird Saturn 8° 6′ mehr als zwei ſideriſche Umläufe, und Jupiter eben ſo viel mehr als fünf ſideriſche Umläufe beſchrieben haben. Bei jeder dritten Conjunktion werden alſo beide Planeten in einen Punkt ihrer Bah-

nen gelangen, der um 8° 6′ demjenigen voraus iſt, in welchem die frühere Conjunktion ſtattfand, welcher Unterſchied in der That gering genug iſt, um dem fraglichen Falle einer vollkommenen Commenſurabilität der mittleren Bewegungen wenigſtens ſehr nahe zu kommen. Während mehrerer ſolcher auf einander folgenden Zeiträume (7 oder 8) wird der Ueberſchuß der nicht ausgeglichenen Wirkung des ſtörenden Planeten ſtets in demſelben Sinne ſtattfinden, und in jedem derſelben wird dadurch die Bewegung von P auf die nämliche Weiſe geſtört werden, ſo daß ſich dieſe Wirkung in Bezug auf die Länge von P immer mehr anhäuft. Hierdurch entſteht eine gewiſſe Ungleichförmigkeit von beträchtlicher Größe und von einer ſehr langen Periode, welche in der Aſtronomie unter dem Namen der großen Ungleichheit des Jupiter und Saturn ſehr bekannt iſt.

548) Der Bogen von 8° 6′ iſt $44\frac{4}{9}$ mal in dem ganzen Kreisumfange von 360° enthalten; wenn wir folglich nur jene vorhin erwähnte, dritte Conjunktion ins Auge faſſen, ſo finden wir, daß ſie nach eben ſo viel mal 21760 Tagen, oder nach 2648 Jahren, wieder in den nämlichen Punkt der Bahn fällt. Aber die Conjunktion, welche wir hier betrachten, iſt nur eine von dreien. Die beiden andern werden bei Bahnpunkten ſtattfinden, die von dem der erſtern ungefähr um 123° und 246° abſtehen, und dieſe zwei lezteren Punkte werden nach Verlauf von 21760 Tagen ebenfalls um den nämlichen Bogen von 8° 6′ vorrücken. Folglich wird die Periode von 2648 Jahren alle drei Punkte durch den ganzen Kreisumfang führen, und nach dieſem Zeitraume wird ſich jeder derſelben wieder an der nämlichen Stelle der beiden Bahnen befinden, von welcher wir den Cyclus begannen; mithin wird überhaupt eine Conjunktion (die eine oder die andere von jenen dreien) jedesmal nach Verfluß von einem Drittel der erwähnten Periode, oder nach 883 Jahren, an dieſer Stelle ſtattfinden. Und dieſes iſt demnach der Zeitraum, nach welchem die große Ungleichheit ſich völlig compenſiren würde, wenn die Elemente beider Bahnen während deſſelben ungeändert blieben. Aber in einem

ſo langen Zeitraume iſt dieſe Aenderung ziemlich beträchtlich, und aus dieſer Urſache verlängert ſich die wirkliche Periode der großen Ungleichheit bis auf etwa 918 Jahre.

549) Wir haben dieſe Ungleichheit als ein paſſendes Beiſpiel von der Wirkung der ſtörenden Tangentialkraft ausgewählt, wegen ihrer beträchtlichen Größe und der Länge ihrer Periode, ſo wie auch wegen ihres hohen hiſtoriſchen Intereſſes. Schon lange iſt von den Aſtronomen bemerkt worden, daß, wenn man neuere Beobachtungen des Jupiter und Saturn mit ältern verglich, die mittleren Bewegungen dieſer beiden Planeten ſich nicht als gleichförmig zeigten. Die Umlaufszeit des Saturn ſchien ſich z. B. während des ganzen ſiebenzehnten Jahrhunderts immer mehr verlängert und diejenige des Jupiter verkürzt zu haben, d. h. mit andern Worten, der erſtere Planet war immer hinter dem berechneten Orte deſſelben zurück, und der andere ſeinem berechneten Orte voraus. Dagegen während des achtzehnten Jahrhunderts ſchien gerade das Umgekehrte einzutreten. Es iſt wahr, alle dieſe beobachteten einzelnen Verzögerungen und Beſchleunigungen waren nicht ſehr groß; da aber ihr Einfluß ſich immer mehr anhäufte, ſo brachten ſie, im Verlaufe der Zeit, zwiſchen den berechneten und beobachteten Oertern dieſer beiden Planeten weſentliche Unterſchiede hervor, welche, da man ſie nach keiner Theorie zu erklären wußte, die Aufmerkſamkeit in hohem Grade auf ſich zogen, und zu einer Zeit ſogar mit zu großer Uebereilung als ein Beweis gegen die Richtigkeit der Newton'ſchen Gravitationstheorie angeſehen wurden. Eine geraume Zeit hindurch vereitelten dieſe Unterſchiede jedes Beſtreben, ſie zu erklären, bis endlich Laplace den Grund derſelben in der nahen Commenſurabilität der mittleren Bewegungen beider Planeten fand, wie wir vorhin gezeigt haben, und es ihm gelang, die Größe und Periode dieſer Ungleichheit wirklich zu berechnen.

550) Dieſe Ungleichheit hat eine abwechſelnde Verkleinerung und Vergrößerung der Länge des Saturn von etwa 0° 49′ im Maximum, und eine entſprechende Vergrößerung und Verkleinerung der Länge des Jupiter von ungefähr 0° 21′ zur Folge. Daß eine Beſchleunigung

bei dem einen Planeten nothwendig mit einer Verzögerung bei dem andern verbunden ſeyn muß, wird leicht begreiflich, wenn wir erwägen, daß, da Wirkung und Gegenwirkung ſich gleich ſind und in einander entgegengeſezten Richtungen ſtattfinden, der nämliche Impuls, welchen Jupiter in der Richtung PM dem Saturn ertheilt, auch vom Saturn in der Richtung MP dem Jupiter ertheilt wird. Der eine Planet wird alſo in ſeiner Bahn vorwärts getrieben oder beſchleunigt werden, während der andere in der ſeinigen aufgehalten oder verzögert wird. Die Geometrie beweiſet, daß dieſe beiden entgegengeſezten Wirkungen, ihrer Quantität nach, ſich zu einander verhalten umgekehrt, wie die Produkte aus den Maſſen in die Quadratwurzeln der großen Axen der Bahnen beider Planeten; und dieſes durch eine ſehr verwickelte und merkwürdige Rechnung gefundene Reſultat wird durch die Beobachtungen vollkommen beſtätigt.

551) Die hier betrachtete Ungleichheit würde viel größer ſeyn, wenn nicht in jeder Periode von drei auf einander folgenden Conjunktionen der beiden Planeten eine theilweiſe Compenſation ſtattfände. Es ſtelle PQR (Fig. 68) die Bahn des Saturn vor und pqr diejenige des Jupiter, und man nehme an, daß bei Pp eine Conjunktion auf der Linie SA eintrete, 123⁰ hiervon entfernt eine zweite Conjunktion auf der Linie SB, eine dritte in einem Abſtande von 246⁰ auf der Linie SC, und die nächſte bei 368⁰ auf der Linie SD. Da dieſe leztere Conjunktion in die Nähe der Stelle fällt, wo die erſte ſtattfand, ſo wird ſie die Einwirkung dieſer erſten auf Beſchleunigung oder Verzögerung der Bewegung der beiden Planeten nahezu wiederholen; die beiden andern hingegen, welche in dem größtmöglichen Abſtande von der erſten eintreten, werden unter ganz verſchiedenen Umſtänden in Bezug auf die Lage der Perihelien der Bahnen ſtattfinden. Nun haben wir aber geſehen, daß die Durchgänge der Planeten durch ihre, in verſchiedenen Bahnpunkten ſich ereignenden Conjunktionen eine Ausgleichung hervorzubringen ſtreben; und es muß in der That die größtmögliche Ausgleichung, welche durch nicht mehr als drei verſchiedene Configurationen bewirkt wer-

den kann, alsdann erfolgen, wenn dieſelben rings um den Mittelpunkt gleichmäßig vertheilt ſind. Durch drei Conjunktionslagen wird mehr ausgeglichen, als durch zwei, durch vier wieder mehr, als durch drei, und ſofort. Hieraus ſehen wir, daß es nicht der ganze Betrag der Störung iſt, welcher ſich nach jeder dritten Conjunktion dem frühern hinzugeſellt, ſondern nur der kleine Theil derſelben, der durch die beiden zwiſchenliegenden Conjunktionen unausgeglichen bleibt. Der Leſer, welcher ſchon etwas mit der mathematiſchen Theorie der Störungen vertraut iſt, wird leicht bemerken, daß dieſe leztere Betrachtung denjenigen Theil der mathematiſchen Entwickelung der hier in Frage ſtehenden Ungleichheit in ſich ſchließt, nach welchem wir den analytiſchen Ausdruck derſelben in Gliedern von der dritten Ordnung finden, d. h. in Gliedern, die von den Würfeln und den Produkten von drei Dimenſionen der Excentricitäten abhängen; auch wird er finden, daß die beſtändige Anhäufung von kleinen Größen während langer Zeiträume demjenigen entſpricht, was die Geometer darunter verſtehen, wenn ſie von kleinen Gliedern ſprechen, welche durch die Integration einen ſehr merklichen Werth erhalten.

552) Ganz ähnliche Betrachtungen finden ihre Anwendung bei einem jeden Falle, in welchem eine nahe Commenſurabilität der mittleren Bewegungen irgend zweier Planeten ſtattfindet. Einen ſolchen Fall haben wir z. B. bei der mittlern Bewegung der Erde und der Venus, indem das Dreizehnfache der Umlaufszeit der Venus ſehr nahe gleich iſt dem Achtfachen der Umlaufszeit der Erde. Hiervon iſt die Folge, daß immer nach fünf Conjunktionen, dieſe beiden Planeten äußerſt nahe (bis auf $\frac{1}{240}$ des Kreisumfangs) wieder zu denſelben Punkten ihrer Bahnen gelangen, wodurch alſo eine entſprechend lange dauernde Anhäufung der ſich ergebenden unausgeglichenen Störungen entſteht. Der auf dieſe Art ſich anhäufende Theil der Störungen iſt jedoch, wie wir vorhin geſehen haben, nur derjenige, der durch die Durchgänge der beiden Planeten durch die, rings um den Mittelpunkt gleichmäßig vertheilten fünf Conjunktionen

derſelben nicht völlig ausgeglichen wird; oder er iſt, nach der Sprache der Geometer, von den fünften Potenzen und den Produkten von fünf Dimenſionen der Excentricitäten und Neigungen abhängig. Er iſt folglich außerordentlich klein, und die ganze daraus hervorgehende Ungleichheit beläuft ſich nach den neueren ſorgfältigen Rechnungen von Airy, der ſie zuerſt entdeckt hat, in ihrem Maximum nur auf ein paar Sekunden, wobei die Periode derſelben nicht weniger als 240 Jahre beträgt. Dieſes Beiſpiel kann einen Beweis von dem Grade der Genauigkeit abgeben, mit welcher dergleichen Unterſuchungen in der Planetentheorie geführt werden.

553) In der Theorie des Mondes bringt die Wirkung der Tangentialkraft ebenfalls viele Ungleichheiten hervor, von denen die hauptſächlichſte, welche man die Variation nennt, direkt aus demjenigen Theile der Störung entſpringt, der von der abwechſelnden Vergrößerung und Verkleinerung der Flächenräume von den Syzygien bis zu den Quadraturen, und von dieſen bis zu jenen, in Verbindung mit der elliptiſchen Geſtalt der Bahn herrührt, durch welche leztere bewirkt wird, daß der nämliche um den Brennpunkt beſchriebene Flächenraum, in verſchiedenen Theilen der Ellipſe, auch einer verſchiedenen Winkelbewegung entſpricht. Dieſe Ungleichheit, die in ihrem Maximum etwa 37 Minuten beträgt, wurde zuerſt von Tycho Brahe als eine periodiſche Correction des berechneten Mondsortes bezeichnet, und ſie iſt in der Geſchichte der Mondstheorie dadurch merkwürdig geworden, daß ſie die erſte war, die von Newton durch ſeine Lehre von der allgemeinen Schwere erklärt wurde.

554) Wir kommen jezt zu der Betrachtung des Einfluſſes desjenigen Theils der ſtörenden Kraft, welcher in der Richtung des Radius Vektor ſeine Wirkung äußert, (Art. 540) wodurch derſelbe das Geſez der Schwere zu modificiren und demnach auf eine direktere und augenfälligere Weiſe, als es bei der Tangentialkraft der Fall iſt, die Geſtalt der geſtörten Bahn von derjenigen einer Ellipſe zu entfernen ſucht, oder wodurch er, nach dem im Art. 536 von der Sache aufgefaßten Geſichts-

punkte, eine Veränderung in der Größe der Ellipſe, in ihrer Excentricität, und in der Lage derſelben in ihrer eigenen Ebene, oder in dem Orte des Periheliums, hervorzubringen ſtrebt.

555) Wir haben bei der Unterſuchung der durch die Wirkung von M in der Bewegung von P verurſachten Störung ſchon öfter die Bemerkung gemacht, daß nur der Unterſchied der Anziehungen von M auf S und P als die eigentliche ſtörende Kraft zu betrachten iſt. Wenn wir nun zuvörderſt (Fig. 67) die Kraft, welche M auf P allein äußert, nach der Richtung des Radius Vektors P S und nach P K, die leztere parallel mit S M, zerlegen, ſo finden wir in der Geſammtkraft, mit welcher M auf die Bewegung von P ſtörend einwirkt, keinen entſprechenden Theil mehr, durch den die nach der erſteren Richtung zerlegte Kraft aufgehoben werden könnte, und dieſe erſcheint daher, ihrer vollen Wirkung nach, als eine ſtörende Kraft, welche die Gravitation von P gegen S beſtändig zu vergrößern ſucht, weshalb man ſie den additiven Theil der ſtörenden Radialkraft nennt. Außerdem haben wir aber noch eine andere Kraft, die ebenfalls in der Richtung des Radius Vektors S P wirkt, und zwar diejenige, die aus der Differenz der Anziehungen von M auf S und P entſpringt. Wird nämlich dieſe Differenz zuerſt nach der Richtung P K, parallel mit S M genommen, und dann nach den Richtungen P Q und P R, der Verlängerung von S P, zerlegt, ſo erhalten wir zwei Kräfte, von denen die erſte, nach der Richtung P Q, die Tangentialkraft iſt, welche wir bereits in Betrachtung gezogen haben, und die zweite, ſenkrecht auf dieſer, nach der Verlängerung des Radius Vektors S P wirkt. Dieſer leztere Theil der Wirkung von M heißt der ſubtractive Theil der ſtörenden Radialkraft, weil derſelbe die Gravitation von P gegen S faſt immer zu vermindern ſtrebt. Durch die Vereinigung jenes additiven Theiles mit dieſem ſubtractiven erhält man, für eine jede gegebene gegenſeitige Stellung von P und M, die vollſtändige ſtörende Radialkraft, welche, je nach der abſoluten Größe ihrer beiden Theile, die Gravitation von P gegen S bald vermehrt, bald vermindert, und deren Wirkungen wir jezt näher zu unterſuchen haben.

556) Es hat keine Schwierigkeit, dieſe verſchiedenen Kräfte zu berechnen, ſobald die Dimenſionen der Bahnen gegeben ſind, aber die analytiſchen Ausdrücke für dieſelben ſind doch zu ſehr zuſammengeſezt, um hier Plaz finden zu können. Für unſern Zweck wird es genügen, ihr Streben im Allgemeinen zu unterſuchen, und wir wollen alſo zunächſt ihre mittleren Wirkungen, d. h. diejenigen, die ſie nach einem mittlern Durchſchnitte in der Bahn des geſtörten Körpers hervorbringen, in Betrachtung ziehen. Um zu bemeſſen, welches, bei einer jeden Stellung von P, die mittlere Wirkung des Körpers M in allen Lagen, die derſelbe in Bezug auf P annehmen kann, ſeyn wird, brauchen wir uns nur vorzuſtellen, daß die Maſſe des Körpers M auf dem ganzen Umfange ſeiner Bahn gleichmäßig vertheilt ſey, und dieſelbe alſo die Form eines dünnen Ringes annehme. Wollten wir die elliptiſche Geſtalt der Bahn von M berückſichtigen, ſo dürften wir uns nur vorſtellen, daß die Dicke dieſes Ringes in den einzelnen Bahntheilen der Zeit proportional wäre, die M gebraucht, um jeden ſolchen Theil zu durchlaufen. Aber dieſe Schärfe wollen wir nicht beobachten, ſondern uns zuvörderſt damit begnügen, die Bahn von M als einen Kreis anzuſehen und ſeine Bewegung als gleichförmig zu betrachten. Alsdann iſt einleuchtend, daß die auf P geäußerte, mittlere ſtörende Wirkung dieſes Ringes in dem Unterſchiede der Anziehungen beſtehen wird, welche derſelbe auf die zwei Punkte P und S ausübt, von denen der leztere den Mittelpunkt des Ringes einnimmt, der erſtere aber eine excentriſche Lage in demſelben hat. Nun iſt die Anziehung einzelner gleicher Theile eines Ringes auf ſeinen Mittelpunkt offenbar in allen Richtungen die nämliche, es wird folglich die Anziehung des einen Theils durch diejenige des gegenüberliegenden Theils aufgehoben, und die Geſammtwirkung des Ringes auf ſeinen Mittelpunkt iſt demnach gleich Null. Dagegen wird die Geſammtanziehung eines Ringes auf einen Punkt P, der innerhalb deſſelben eine excentriſche Lage hat, nach außen hin, nämlich vom Centrum weg gerade gegen den, dem Punkte zunächſt liegenden Theil des Ringes gerichtet

ſeyn.*) Wenn aber P außerhalb des Ringes liegt, ſo wird die geſammte Anziehungskraft deſſelben beſtändig nach innen zu gerichtet ſeyn, ſo daß ſie P dem Mittelpunkte des Ringes zu nähern ſucht. Hieraus geht hervor, daß die mittlere Wirkung der Radialkraft in Bezug auf ihre Richtung eine verſchiedene ſeyn wird, je nachdem die Bahn des geſtörten Körpers von derjeni-

*) Da dieſer Saz nicht etwa blos einen gedachten Fall betrifft oder nur zum Zweck von Erläuterungen beigebracht iſt, ſondern derſelbe in der Lehre vom Gleichgewichte des Saturnsringes ſeine wirkliche Anwendung findet, ſo wird es gut ſeyn, ihn hier zu beweiſen, was ſehr einfach und ohne alle mathematiſche Rechnung geſchehen kann. Denken wir uns eine ſphäriſche Hülle und innerhalb derſelben einen materiellen Punkt, ſo wird eine jede, durch den Punkt gezogene und auf beiden Seiten deſſelben bis zur Oberfläche der Hülle fortgeſezte, gerade Linie an ihren beiden Enden gegen dieſe Oberfläche gleichmäßig geneigt ſeyn, weil ſie, als Chorde einer Kugelfläche, gegen alle Theile der leztern eine ſymmetriſche Lage hat. Ferner wollen wir uns einen kleinen Doppelkegel vorſtellen, deſſen gemeinſchaftlicher Scheitel in jenem Punkte liegt, und der durch die coniſche Drehung einer ſolchen Linie um dieſen Punkt erzeugt wird. Alsdann werden die beiden Stücke der ſphäriſchen Hülle, welche die Grundflächen der beiden Kegel bilden, einander ähnlich und gegen die Axen der Kegel gleichmäßig geneigt ſeyn. Die Flächen dieſer beiden Stücke werden ſich folglich zu einander verhalten, wie die Quadrate ihrer Abſtände von ihrem gemeinſchaftlichen Scheitel. Mithin ſind die Anziehungen derſelben auf dieſen Punkt einander gleich, weil die Attraction ſich direkt, wie die anziehende Maſſe, und umgekehrt, wie das Quadrat ihres Abſtandes von dem angezogenen Punkte verhält. Da nun dieſe Attractionen nach einander entgegengeſezten Richtungen wirken, ſo heben ſie ſich gegenſeitig auf. Der Punkt befindet ſich alſo zwiſchen ihnen im Gleichgewichte, und da daſſelbe, für alle beliebigen Richtungen der gemeinſchaftlichen Kegelaxe, von einem jeden ſolchen Paare von Flächen gilt, in welche man ſich die ganze ſphäriſche Hülle eingetheilt vorſtellen kann, ſo folgt, daß der Punkt ſich ſtets im Gleichgewichte befindet, welche Lage er auch innerhalb der ſphäriſchen Hülle haben möge. Nunmehr wollen wir ſtatt einer ſphäriſchen Hülle einen Ring in Betrachtung ziehen und mit demſelben auf die nämliche Weiſe verfahren, indem wir ſeinen Umfang in zuſammengehörige Paare von Elementen eintheilen, welche hier die Grundlinien von einander gegenüberliegenden kleinen Dreiecken ſind, die durch je zwei, in dem angezogenen Punkte ſich durchſchneidende und auf beiden Seiten deſſelben bis an die Peripherie des Ringes verlängerte Linien gebildet werden. Da hier die anziehen-

gen des ſtörenden, oder dieſe von jener, eingeſchloſſen iſt. In dem erſtern Falle wird durch ſie die Gravitation nach dem Centralkörper vermindert, im lezteren vermehrt werden.

557) Betrachten wir fortwährend nur die mittlere Wirkung der Radialkraft, wie ſie aus einer großen Anzahl von Umläufen beider Körper hervorgeht, ſo iſt klar, daß eine Vergrößerung der Centralkraft mit einer Verminderung der Umlaufszeit und einer Zuſammenziehung der Bahn eines mit beſtimmter Geſchwindigkeit umlaufenden Körpers verbunden ſeyn muß, und umgekehrt. Dieſes iſt demnach die erſte und einleuchtendſte Wirkung der ſtörenden Radialkraft. Durch ſie wird eine bleibende Aenderung von einem gewiſſen mittlern und conſtanten Betrage in den Dimenſionen der Bahnen und den Umlaufszeiten aller Körper, aus denen das Planetenſyſtem beſteht, hervorgebracht, welche nicht ſtattfinden würde, wenn jeder Planet um die Sonne liefe, ohne zugleich dem Einfluſſe der Attraction aller übrigen ausgeſezt zu ſeyn; und zwar bewirkt ſie, daß die Winkelgeſchwindigkeit der innern Körper des Syſtems kleiner, und die der äußern größer iſt, als dieſelbe unter jener Annahme ſeyn würde. Die zulezt genannte Wirkung läßt ſich in der That auch ſehr leicht aus der einfachen Betrachtung folgern, daß alle Planeten, welche innerhalb der Bahn irgend eines andern laufen, als Körper angeſehen werden können, die ſich der anziehenden Maſſe des Centralkörpers noch hinzugeſellen, und mithin, obgleich ſie im Raume

---

den Elemente Linien ſind und keine Flächen, ſo ſtehen ſie zu einander in dem einfachen Verhältniſſe ihrer Entfernung von dem angezogenen Punkte, und nicht in dem doppelten, wie es für die Erhaltung des Gleichgewichtes der Fall ſeyn müßte. Daher wird hier kein Gleichgewicht ſtattfinden, ſondern die Attraction der dem Punkte näheren Elemente wird diejenige der entfernteren überwiegen, und der Punkt alſo, im Ganzen genommen, gegen den ihm zunächſt liegenden Theil des Ringes getrieben werden. Daſſelbe gilt von jedem linearen Ringe, d. h. einem ſolchen, deſſen Breite unendlich klein iſt, und folglich auch von einer jeden Menge ſolcher concentriſch liegenden Ringe, aus denen man ſich einen flachen Ring, wie z. B. den des Saturn, zuſammengeſezt vorſtellen kann. —

vertheilt ſind und ſich in einem beſtändigen Kreislaufe befinden, doch die Attraction nach dem Mittelpunkte verſtärken.

558) Dieſe Wirkung gehört indeſſen unter diejenigen, zu deren Meſſung, oder ſelbſt Entdeckung, wir kein anderes Mittel beſizen, als die Rechnung. Denn unſere Kenntniß der Umlaufszeiten der Planeten und der Dimenſionen ihrer Bahnen beruht auf Beobachtungen, die an ihnen in ihrem wirklichen Zuſtande, und mithin unter dem Einfluſſe dieſes beſtändigen Theiles der Störung, angeſtellt werden. In den beobachteten mittleren Bewegungen derſelben iſt folglich der volle Betrag dieſes Einfluſſes mit inbegriffen, und wir beſizen kein Mittel, ihn von der direkten Wirkung der Sonnenattraction, mit welcher er vermiſcht iſt, abzuſondern. Die Kenntniß indeſſen, welche wir von den Maſſen der Planeten haben, gibt uns die Ueberzeugung, daß derſelbe außerordentlich gering iſt; und dieſes iſt in der That auch Alles, was hierüber zu wiſſen für uns von Wichtigkeit ſeyn kann.

559) Die Wirkung der Sonne auf den Mond ſucht auf gleiche Weiſe, durch ihren, aus einer großen Zahl auf einander folgender Umläufe beider Körper hervorgehenden mittlern Einfluß, die Bahn des leztern permanent zu erweitern und die Umlaufszeit deſſelben zu vergrößern. Aber dieſes allgemeine mittlere Reſultat wird ſowohl beim Monde, als bei den Planeten, nicht ohne eine Reihe untergeordneter, von der Ellipticität ihrer Bahnen herrührenden Schwankungen erhalten, auf die wir bei der obigen Erörterung abſichtlich keine Rückſicht genommen haben, und welche offenbar, nach einer großen Menge von Umläufen, im mittlern Durchſchnitte ſich gegenſeitig auszugleichen trachten. Beim Monde indeſſen machen ſich viele von dieſen untergeordneten Schwankungen den Beobachtungen ſehr bemerkbar, und ſie ſind daher zu einer genauen Beſtimmung ſeiner Bewegungen von großer Wichtigkeit. Z. B.: Die Bahn der Sonne (auf die als feſt betrachtete Erde bezogen) iſt elliptiſch, und erfordert zu ihrer völligen Beſchreibung dreizehn Mondsumläufe, während welcher die Entfernung der Sonne abwechſelnd größer und kleiner wird, ſo daß jede Periode, ſowohl die

der Vergrößerung, als die der Verkleinerung, wenigſtens ſechs vollſtändige Mondsumläufe umfaßt. Wenn ſich nun die Sonne der Erde nähert, ſo werden jegliche ſtörenden Kräfte derſelben namhaft vergrößert, und im andern Falle ſehr vermindert. Folglich wird die Erweiterung der Bahn des Mondes, welche ſie hervorbringt und die Vergrößerung ſeiner Umlaufszeit, einer beſtändigen Schwankung unterliegen, indem dieſelbe bald ſtärker, bald ſchwächer ſeyn wird, je nachdem ſich die Sonne der Erde nähert, oder weiter von ihr entfernt. Und dieſes ſtimmt in der That völlig mit der Erfahrung überein, indem der beobachtete Unterſchied zwiſchen einer Lunation im Januar (wo die Sonne der Erde am nächſten iſt) und einer Lunation im Juli (wo ſie ihre größte Entfernung von derſelben erreicht) nicht weniger als 35 Minuten beträgt. Dieſe Ungleichheit in der Bewegung des Mondes heißt die Evection deſſelben.

569) Eine andere äußerſt merkwürdige Wirkung dieſer Art, die ebenfalls auf einer ſolchen untergeordneten, ſich aber über einen unermeßlichen Zeitraum ausdehnenden, Schwankung beruht, iſt diejenige, die man die Sācularbeſchleunigung der mittleren Bewegung des Mondes nennt. Halley machte die Bemerkung, indem er die älteſten, von den Chaldäiſchen Aſtronomen beobachteten Mondsfinſterniſſe mit denen in neuerer Zeit verglich, daß die Dauer des Mondsumlaufes gegenwärtig merklich kürzer iſt, als ſie in jener entfernten Epoche war; und dieſes Reſultat hat ſich, durch eine fernere Vergleichung dieſer doppelten Reihe von Beobachtungen mit denen der Arabiſchen Aſtronomen im achten und neunten Jahrhundert, vollkommen beſtättigt gefunden. Es haben dieſe Vergleichungen gezeigt, daß die mittlere Bewegung des Mondes in jedem Jahrhundert etwa um 11 Secunden zunimmt, eine Größe, die an ſich ſelbſt zwar gering iſt, aber durch ihre beſtändige Anhäufung nach Verlauf von großen Zeiträumen ſehr beträchtlich wird. Dieſe merkwürdige Erſcheinung iſt, wie die der großen Ungleichheit des Jupiter und Saturn, lange Zeit hindurch für die Geometer ein Gegenſtand mühſamer Unterſuchungen geweſen. Sie fanden es in der

That ſo ſchwierig, irgend eine genügende Erklärung davon zu geben, daß einige wieder auf dem Punkte ſtanden, die Theorie der Schwere als zu einer ſolchen Erklärung untauglich zu bezeichnen, andere dagegen die Thatſache ſelbſt in Abrede ſtellten, obgleich ſie auf unwiderleglichen hiſtoriſchen Daten beruht. Endlich gelang es auch hier dem Scharfſinne Laplace's, die phyſiſche Aſtronomie von dem ihr gemachten Vorwurfe zu befreien, indem er die wahre Urſache dieſer Erſcheinung ausfindig machte, die, nach der von ihm gegebenen Erklärung derſelben, eine der merkwürdigſten und lehrreichſten iſt, welche die Theorie der Störungen uns darbietet, indem ſie ungleich mehr, als jede andere durch Beobachtung in Verbindung mit der Theorie enthüllte Thatſache, geeignet iſt, unſere Blicke weit in die Vergangenheit und Zukunft zu lenken, und auf unermeßliche Zeiträume hinaus die Veränderungen zu betrachten, welche unſer Planetenſyſtem bereits erfahren hat und noch ferner erfahren wird.

561) Wäre die elliptiſche Bahn der Sonne unveränderlich, ſo würde die abwechſelnde Erweiterung und Zuſammenziehung der Mondsbahn, wie ſie im Art. 559 erläutert worden iſt, zuletzt nach einer ſehr großen Anzahl von Umläufen der Sonne, eine genaue Ausgleichung in dem Abſtande und der Umlaufszeit des Mondes hervorbringen, indem jede mögliche Entfernung der Sonne bei jeder möglichen Elongation des Mondes von derſelben ſtattgefunden haben würde. Aber dieſes iſt in der Wirklichkeit nicht der Fall. Die Bahn der Sonne iſt (wie wir ſchon im Art. 536 bemerkt haben, und wie wir bald es noch näher erläutern werden,) vermöge der Einwirkung der Planeten auf die Erde, einer beſtändigen, obgleich außerordentlich langſam vor ſich gehenden Veränderung unterworfen. Die große Axe derſelben bleibt zwar ungeändert, aber ihre Excentricität iſt ſchon ſeit den früheſten Zeiten her beſtändig im Abnehmen begriffen, und dieſe Abnahme wird auch (wie kaum zu bezweifeln iſt) fortdauern, bis die Excentricität gänzlich verſchwunden und die Erdbahn ein vollkommener Kreis geworden iſt, w...uf dieſelbe bis zu einer gewiſſen Gränze wieder zu-

nehmen wird, um alsdann abermals abzunehmen. Die Dauer dieſer periodiſchen Ab- und Zunahme läßt ſich zwar berechnen, ſie iſt aber bis jezt nur in ſo weit berechnet worden, um uns zu zeigen, daß dieſelbe nicht durch Jahrhunderte oder Jahrtauſende ausgedrückt werden kann. Sie umfaßt, mit einem Worte, einen Zeitraum, in welchem die ganze Geſchichte der Aſtronomie und des Menſchengeſchlechts gewiſſermaßen nur einen Punkt einnimmt, während deſſen eine ſo kleine Veränderung, wie die fragliche, als gleichförmig betrachtet werden kann. Dieſe Veränderung der Excentricität der Erdbahn iſt es nun, welche die Säcularbeſchleunigung des Mondes hervorbringt. Die Ausgleichung, von der wir oben ſprachen, und welche, in der bereits angegebenen Weiſe, ſchon nach wenigen Jahren, oder doch nach wenigen Jahrhunderten erfolgen würde, wenn die elliptiſche Bahn der Sonne ungeändert bliebe, kann jezt, wie wir ſehen, nur unvollſtändig bewirkt werden, indem eines der weſentlichſten Elemente dieſer langſamen Veränderung unterworfen iſt. Die Periode der Ausgleichung hält nicht gleichen Schritt mit derjenigen dieſer Veränderung, und die nämliche Schlußfolgerung, deren wir uns zur Erklärung der durch die Tangentialkraft hervorgebrachten Ungleichheiten von langer Periode bedient haben, findet auch hier ihre Anwendung. So lange die Excentricität der Erdbahn abnimmt, behält die Wirkung ein Uebergewicht über die Gegenwirkung, und erſt, wenn dieſe Abnahme aufhört, wird das umgekehrte Verhältniß eintreten und der Proceß endlicher Ausgleichung ſeinen Anfang nehmen. Bis dahin aber wird bei jeder genauen, oder genäherten Wiederkehr der nämlichen Configurationen der Sonne, des Mondes, und der Perigeen beider Körper, eine kleine unausgeglichene Wirkung übrig bleiben. Dadurch, daß dieſe einzelnen unausgeglichenen Wirkungen ſich anhäufen, modificiren ſie allmählig die Umlaufszeit und mittlere Bewegung des Mondes, und indem ſie auf dieſe Art bei jeder Lunation ihren Einfluß fortſezen, ſammelt ſich derſelbe endlich in Bezug auf die Länge des Mondes bis zu einem Betrage an, der nicht mehr zu überſehen oder zu vernachläßigen iſt.

562) Die Erſcheinung, von welcher wir ſo eben eine Erklärung gegeben haben, liefert uns ein anderes und zwar ſehr treffendes Beiſpiel von der Fortpflanzung einer periodiſchen Veränderung in dem einen Theile eines Syſtems zu dem andern. Die Planeten üben keinen direkten, merklichen Einfluß auf die, von der Erde aus beobachteten Bewegungen des Mondes. Ihre Maſſen ſind zu klein, und ihre Entfernungen zu groß, als daß der Unterſchied ihrer Anziehungen auf den Mond und auf die Erde jemals merklich werden könnte. Dennoch wird der Einfluß, den ſie auf die Bahn der Erde ausüben, in der Art, wie wir geſehen haben, durch die Wirkung der Sonne, auf die Bahn des Mondes übertragen; und was höchſt merkwürdig iſt, der Einfluß, den dieſe indirekt übertragene Wirkung der Planeten auf den Winkel äußert, welchen der Mond um die Erde beſchreibt, iſt für die Beobachtung weit merklicher, als derjenige, den die direkte Wirkung derſelben auf den von der Erde um die Sonne beſchriebenen Winkel ausübt.

563) Von den Erweiterungen und Zuſammenziehungen der Bahnen des Mondes und der Planeten, die eine Folge der Wirkung der Radialkraft ſind, und durch welche die mittleren Bewegungen jener Körper modificirt werden, hat man alſo zwei Arten zu unterſcheiden: Die einen ſind bleibend, und hängen von der Vertheilung der anziehenden Maſſe im ganzen Syſteme und von der Anordnung der einzelnen Planeten in demſelben ab; die anderen ſind periodiſch, und gleichen ſich nach Verlauf einer gehörigen Zeit wieder aus. Die Geometer haben bewieſen (Lagrange iſt es zunächſt, dem wir dieſe höchſt wichtige Entdeckung verdanken,) daß es außer dieſen beiden Arten keine anderen Wirkungen mehr gibt, die ihren Urſprung entweder in der Radial- oder der Tangentialkraft, oder in einer Combination beider hätten, und welche ſich z. B. beſtändig in einem und demſelben Sinne anhäufen könnten, ohne ſich jemals zu compenſiren. Insbeſondere haben die Unterſuchungen derſelben gezeigt, daß die großen Axen der Planetenbahnen nicht einmal jene langſamen Säcularänderungen erfahren, denen die Neigungen, Knoten und alle übrigen Elemente

des Sonnenſyſtems unterliegen, und die zwar ebenfalls periodiſcher Natur ſind, aber in einem andern Sinne, als jene Ungleichheiten von langer Periode, welche von den gegenſeitigen Configurationen der Planeten unter ſich abhängen. Nun iſt die Umlaufszeit eines jeden Planeten in ſeiner Bahn um die Sonne lediglich von den Maſſen der Sonne und des Planeten, und von der großen Axe der Bahn des leztern abhängig, und weder die Excentricität, noch irgend ein anderes Element der Bahn, hat auf dieſelbe einen Einfluß. Die mittleren ſideriſchen Umlaufszeiten der Planeten, ſo wie ſie ſich nämlich nach einem mittlern Durchſchnitte aus einer Anzahl von Umläufen ergeben, die groß genug iſt, um eine völlige Compenſation der zulezt erwähnten Ungleichheiten zu bewirken, ſind demnach ſtets unveränderlich. Wenn wir z. B. die Länge des ſideriſchen Jahres gegenwärtig aus Beobachtungen folgerten, die einen Zeitraum von etwa tauſend Umläufen der Erde um die Sonne umfaßten, ſo würden wir das nämliche Reſultat erhalten, als wir finden müßten, wenn uns zu dieſer Beſtimmung eine ähnliche Reihe von Beobachtungen zu Gebot ſtände, die ſchon vor einer Million von Jahren angeſtellt wären.

564) Dieſer Lehrſaz iſt, als ein für ſich beſtehendes Reſultat, mit Recht als der wichtigſte unter allen denen betrachtet worden, welche bisher die Beſtrebungen der Mathematiker belohnt haben. Wir wollen uns daher bemühen, unſern Leſern wenigſtens das Prinzip klar zu machen, auf welchem der Beweis dieſes Sazes beruht; und obgleich von dieſem Prinzipe keine vollſtändige Anwendung gemacht werden kann, ohne in diejenigen Rechnungsdetails einzugehen, die dem Zwecke dieſes Werkes nicht entſprechen, ſo wird es uns doch nicht ſchwer fallen, den Leſer nicht nur bis zu dem Punkt zu führen, wo dieſe Rechnungen beginnen, ſondern auch von lezteren ſelbſt einen ſolchen allgemeinen Ueberblick zu geben, durch welchen es klar wird, was das Reſultat derſelben ſeyn muß, wenn ſie vollſtändig durchgeführt werden.

565) Es iſt eine Eigenſchaft der elliptiſchen Bewegung, die unter dem Einfluſſe der Schwerkraft und in Gemäßheit der Kepler'ſchen Geſeze vor ſich geht, daß,

wenn die Geſchwindigkeit, mit welcher ſich ein Planet in irgend einem Punkte ſeiner Bahn bewegt, und die Entfernung dieſes Punktes von der Sonne gegeben ſind, alsdann hiermit auch die große Axe der Bahn gegeben iſt. Es kommt hierbei nicht auf die Richtung an, in welcher ſich der Planet in jenem Augenblicke bewegt; dieſe hat Einfluß auf die Excentricität und auf die Lage der Ellipſe im Raume, aber nicht auf ihre Länge. Newton hat dieſe Eigenſchaft der elliptiſchen Bewegung bewieſen, und ſie iſt eine der einfachſten und elementarſten Folgerungen aus ſeiner Theorie. Wir wollen nun einen Planeten betrachten, der einen unendlich kleinen Bogen ſeiner Bahn um die Sonne unter der vereinigten Wirkung der Attraction der leztern und der ſtörenden Kraft eines andern Planeten beſchreibt. Dieſer Bogen wird eine gewiſſe Krümmung und Richtung haben; er kann alſo als ein Bogen, der einer gewiſſen, um die Sonne als Brennpunkt beſchriebenen Ellipſe angehört, betrachtet werden, und zwar aus dem einfachen Grunde, daß, welches auch die Krümmung und Richtung des fraglichen Bogens ſeyn mag, ſtets eine Ellipſe beſtimmt werden kann, deren einer Brennpunkt die Sonne iſt, und die mit dem unendlich klein angenommenen Bogen, ſeiner ganzen Länge nach, genau zuſammenfällt. Es iſt dieſes eine rein geometriſche Aufgabe. Es folgt indeſſen nicht, daß die Ellipſe, die ſolchergeſtalt für dieſen Augenblick der Bewegung beſtimmt worden iſt, die nämlichen Elemente haben müſſe, wie diejenige, die auf gleiche Weiſe aus dem Bogen erhalten wird, welchen der Planet im vorhergehenden oder nachfolgenden Augenblicke beſchreibt. Wäre die ſtörende Kraft nicht vorhanden, ſo würde dieſes allerdings der Fall ſeyn; durch ihre Wirkung aber werden die Elemente von einem Augenblick zum andern modificirt, und die auf dieſe Art beſtimmte Ellipſe befindet ſich in einem beſtändigen Zuſtande der Veränderung. Wenn nun der Planet das Ende des von uns betrachteten kleinen Bogens erreicht hat, ſo hängt die Beantwortung der Frage, ob derſelbe im nächſtfolgenden Augenblicke einen Bogen von einer Ellipſe beſchreiben wird, welche die nämliche oder eine veränderte große Axe be-

ſizt, nicht von der neuen Richtung ab, die ihm durch die auf ihn wirkenden Kräfte ertheilt wird (weil die Axe, wie wir geſehen haben, von dieſer Richtung unabhängig iſt), auch nicht von der Veränderung der Entfernung des Planeten von der Sonne, während er den vorigen Bogen beſchrieb (weil die Elemente der Ellipſe dieſem ganzen Bogen angepaßt ſind, ſo daß eine und dieſelbe Axe ſowohl der Entfernung am Anfange, als derjenigen am Ende des Bogens zugehört), ſondern einzig und allein davon, ob durch die Wirkung der ſtörenden Kraft die Geſchwindigkeit des Planeten eine Aenderung erlitten hat, die ſich mit dem Fortbeſtand der nämlichen Axe nicht verträgt. Wir ſagen ausdrücklich „durch die Wirkung der ſtörenden Kraft,“ weil die Centralkraft, welche ihren Siz in dem Brennpunkte hat, dem Planeten keine ſolche Veränderung ſeiner Geſchwindigkeit ertheilen kann, die mit dem Fortbeſtand irgend einer Ellipſe, in welcher ſich derſelbe in jedem Augenblicke frei um dieſen Brennpunkt zu bewegen vermag, unverträglich wäre.

566) Auf dieſe Art ſehen wir, daß die momentane Veränderung der großen Axe von nichts Anderm abhängig iſt, als von der momentanen, durch die Wirkung der ſtörenden Kraft hervorgebrachten Abweichung der wirklichen Geſchwindigkeit des Planeten von derjenigen, die nach den Geſezen der elliptiſchen Bewegung ſtattfinden ſollte, und daß es hierbei weder auf die Richtung der Geſchwindigkeit, welche dem Planeten durch die ſtörende Kraft ertheilt worden iſt, noch auf die Entfernung von der Sonne ankommt, in welcher er ſich in Folge der Veränderung der übrigen Elemente ſeiner Bahn befindet. Und da das Nämliche von jedem Momente ſeiner Bewegung gilt, ſo folgt, daß nach Verlauf irgend eines beliebigen Zeitraums der Totalbetrag der Veränderung der großen Axe beſtimmt werden wird durch den Totalbetrag der, von der Wirkung der ſtörenden Kraft herrührenden Abweichung der Geſchwindigkeit des Planeten von ſeiner urſprünglichen rein elliptiſchen Geſchwindigkeit, ohne alle Rückſicht auf die Aenderungen, welche die nämliche Kraft in den anderen Elementen verurſacht

hat, inſofern nicht durch ſie die Geſchwindigkeit modiſicirt wird. Hier ſtehen wir nun auf dem Punkte, von wo an die weitere genaue Ausmittelung der hervorgebrachten Wirkung den Rechnungen der Geometer überlaſſen werden muß. Indeſſen können wir leicht einſehen, daß dieſe Rechnungen damit endigen werden, die periodiſche Natur und die endliche Ausgleichung aller auf dieſe Art ſich ergebenden Veränderungen der großen Axe zu beweiſen, ſobald wir überlegen, daß der Lauf zweier Planeten um die Sonne, in der nämlichen Richtung und mit incommenſurabeln Umlaufszeiten, zulezt zur Folge haben muß, daß ſie in jede gedenkbare Stellung gegen einander kommen, und ihr Abſtand von einander, und mithin auch die Intenſität ihrer wechſelſeitigen Einwirkung, alle möglichen Veränderungen erfährt. Welche Geſchwindigkeit daher auch bei dem einen Planeten durch die ſtörende Wirkung des andern, in irgend einer gegenſeitigen Stellung derſelben, erzeugt werden mag, ſo wird dieſe unfehlbar durch die in einer andern Stellung hervorgebrachte, blos in Folge des Wechſels der Configurationen wieder aufgehoben werden.

567) Wir ſehen alſo, daß die Veränderungen der großen Axen der Planetenbahnen gänzlich von den Perioden der Configurationen abhängen, gerade ſo, wie die oben erläuterten großen Ungleichheiten des Jupiter und Saturn, oder die Ungleichheit von langer Periode bei der Erde und Venus, welche man wirklich ſo anſehen kann, als ſeyen ſie eine Folge von ſolchen periodiſchen Aenderungen der großen Axen ihrer Bahnen. In der That werden dieſe Ungleichheiten eben durch die Art und Weiſe, wie ſie entſtehen, indem ſie nämlich, wie wir geſehen haben, aus der Anhäufung der unvollſtändig ausgeglichenen Wirkungen der Tangentialkraft entſpringen, geradezu der vorhin angeſtellten Betrachtung über die Veränderungen der großen Axe zugeführt, weil faſt die ganze Wirkung jener Kraft auf die Geſchwindigkeit des geſtörten Planeten zurückfällt, indem die Bewegung des leztern immer nahezu die nämliche, oder entgegengeſezte Richtung hat, wie die Tangentialkraft.

568) Nunmehr wollen wir die Aenderungen betrach-

ten, welche durch die Wirkung der Störungen, ſowohl in der Excentricität, als in der Lage der Axe der geſtörten Bahn in ihrer eigenen Ebene, hervorgebracht werden. Die Axe der Erdbahn z. B. erleidet wirklich, wie wir im Art. 318 bemerkt haben, eine ſolche, wenn gleich äußerſt langſame Veränderung ihrer Lage, diejenige der Mondsbahn hingegen nach Art. 360 eine verhältnißmäßig ſehr ſchnelle. Dieſe Bewegungen ſind es, von denen wir jezt Rechenſchaft zu geben haben.

569) Das Fortrücken der Apſiden der Bahnen des Mondes und der Planeten läßt ſich durch ein recht artiges mechaniſches Experiment erläutern, welches zugleich dadurch lehrreich wird, daß es uns einen Begriff von der Art gibt, wie die Bewegung in einer Bahn unter dem Einfluſſe von Centralkräften vor ſich geht, deren Wirkung je nach der Stellung des umlaufenden Körpers veränderlich iſt. Es ſey ein Bleigewicht mittelſt eines Metallfadens an einem Haken an der untern Fläche eines feſtliegenden Balkens ſo aufgehängt, daß ſich daſſelbe auf allen Seiten der Vertikallinie frei bewegen könne, und daß es im Zuſtande der Ruhe den Fußboden des Zimmers, oder ein Tiſchblatt, welches ſich zehn bis zwölf Fuß unter jenem Hacken befindet, beinahe berührt. Der Aufhängepunkt des Fadens muß gegen jedes Schwanken, das durch die Oſcillationen des Gewichts herbeigeführt werden könnte, wohl geſichert ſeyn, und das Gewicht ſelbſt eine ſolche Schwere beſizen, daß dadurch der Faden ſo ſtark angeſpannt wird, als er es, ohne zu zerreißen, aushalten kann. Nun möge dem Gewichte eine ſehr kleine Bewegung ertheilt werden, aber nicht blos dadurch, daß man es von der Vertikallinie abzieht und wieder zurückfallen läßt, ſondern indem man ihm zugleich einen kleinen Seitenſtoß gibt. Alsdann wird es um ſeinen Ruhepunkt, als Centrum, eine regelmäßige Ellipſe beſchreiben. Wenn das Gewicht ſchwer iſt, und man daſſelbe mit einem Bleiſtifte verſehen hat, deſſen Spize ſich genau in der Verlängerung des Aufhängungsfadens befindet, ſo wird dieſe Spize auf ein ſanft gegen ſie gedrücktes und in horizontaler Lage gehaltenes Blatt Papier die beſchriebene Ellipſe aufzeichnen. Auf dieſe Weiſe wird

man bemerken, daß bei jener kleinen Bewegung, die dem Gewichte ertheilt worden iſt, die Lage der großen und kleinen Axe der beſchriebenen Ellipſe eine geraume Zeit hindurch ſehr nahe ungeändert bleibt, obgleich die Dimenſionen derſelben und ihre Excentricität durch den Widerſtand der Luft und die Steifheit des Fadens allmählig abnehmen. Wenn aber der dem Gewichte ertheilte Impuls beträchtlich iſt, ſo daß ſich daſſelbe um einen namhaften Winkel, z. B. von 15 oder 20 Grad, von der Vertikallinie entfernt, ſo wird dieſe Unveränderlichkeit der Lage der Ellipſe nicht länger fortbeſtehen. Die Axe derſelben wird bei jedem Umlaufe des Gewichts ihre Stellung verändern, indem ſie mit einem gleichförmigen und regelmäßigen Fortſchreiten nach derſelben Richtung vorrückt, in welcher das Gewicht ſich bewegt, wodurch endlich ihre Lage ganz umgekehrt werden wird, ſo daß die Richtung der größten Abweichungen des Gewichts von der Vertikallinie mit derjenigen zuſammenfällt, in welcher anfänglich die kleinſten beobachtet wurden. Auf dieſe Art wird ſie nach und nach den ganzen Umkreis durchlaufen, und mit einem Worte, dem Auge die Erſcheinung des Fortrückens der Apſiden der Mondsbahn ſehr vollſtändig darſtellen.

570) Es wird nicht ſchwierig ſeyn, die Urſache dieſes Fortrückens der Apſiden zu erforſchen. Wenn ein Gewicht an einem Faden aufgehängt iſt und ſeitwärts von der Vertikallinie gezogen wird, ſo ſtrebt daſſelbe nach dem niedrigſten Punkte (oder vielmehr nach einer, in jedem Augenblicke auf den Faden ſenkrechten Richtung) mit einer Kraft, welche ſich dem Sinus des Ablenkungswinkels des Fadens von der Vertikallinie proportional verändert. Nun verhalten ſich die Sinus ſehr kleiner Bögen nahezu wie die Bögen ſelbſt, und dieſes um ſo mehr, je kleiner die Bögen ſind. Wenn daher die Ablenkungswinkel des Fadens ſo klein ſind, daß wir die Krümmung der ſphäriſchen Fläche, in welcher ſich das Gewicht bewegt, vernachläßigen dürfen, und mithin die von lezterm beſchriebene Curve als coincidirend mit ihrer Projection auf einer horizontalen Ebene betrachtet werden kann, ſo wird die Bewegung des Gewichts unter

den nämlichen Umſtänden vor ſich gehen, wie diejenige eines Körpers, der um ein Centrum läuft, nach welchem er mit einer, ſeinem Abſtande von dieſem Centrum proportionalen Kraft gezogen wird. In dieſem leztern Falle wird aber, wie Newton bewieſen hat (Principia I. 47) die beſchriebene Curve eine Ellipſe ſeyn, deren Attractionscentrum nicht in dem einen Brennpunkte, ſondern im Mittelpunkt liegt, und die Apſiden dieſer Ellipſe werden eine unveränderliche Lage behalten. Sind hingegen die Ablenkungen des Fadens von der Vertikallinie beträchtlich, ſo kann die Krümmung der Kugelfläche, in welcher das Gewicht ſeine Bahn beſchreibt, nicht mehr vernachläßigt werden, und die Kraft, mit welcher daſſelbe gegen den niedrigſten Punkt, oder den Mittelpunkt der beſchriebenen Curve, ſtrebt, wird nicht mehr in dem einfachen Verhältniß der Abſtände von dieſem Punkte ſtehen, indem leztere ſich wie die Ablenkungsbögen verhalten, jene Kraft aber dem Sinus derſelben proportional iſt. Nun nehmen zwar mit größer werdenden Bögen die Sinus derſelben ebenfalls zu, jedoch nicht in demſelben Grade, ſondern bei irgend beträchtlicher Zunahme der erſteren bleibt die der leztern etwas zurück, ſo daß keine genaue Proportionalität zwiſchen beiden mehr ſtattfindet. Die Kraft, mit welcher das Gewicht nach ſeinem Ruhepunkte getrieben wird, bleibt daher, bei größeren Abſtänden, in dem nämlichen Verhältniſſe etwas hinter derjenigen zurück, die den Körper eine genaue elliptiſche Bahn beſchreiben laſſen würde. Sie wird folglich, bei ſolchen größern Abſtänden, im Verhältniß zur Schnelligkeit des Fortſchreitens des Gewichtes, nicht mehr diejenige Macht auf daſſelbe ausüben, die fähig wäre, es von ſeinem geradelinigen Laufe in der Richtung der Tangente ſo abzulenken, daß es eine Ellipſe beſchreiben müßte. Die wirkliche Bahn, welche es beſchreibt, wird in den entfernteren Theilen weniger gekrümmt ſeyn, als mit der elliptiſchen Geſtalt vereinbar iſt, (ſiehe Fig. 69) und folglich wird die Bewegung des Gewichts nicht ſo bald wieder ihre auf die Halbaxen ſenkrechte Richtung erlangen. Damit dieſes geſchehe, wird eine länger fortgeſezte Wirkung der

Centralkraft erforderlich ſeyn, und mithin das Gewicht, in ſeiner Winkelbewegung um das Centrum, mehr als einen Quadranten ſeiner Bahn durchlaufen müſſen. Hierdurch iſt aber, nur mit mehr Worten, die Thatſache feſtgeſtellt, welche man kürzer und einfacher ausdrückt, indem man ſagt, daß die Apſiden der Bahn des Gewichts vorrücken.

571) Dieſelbe Schlußfolgerung läßt ſich, mutatis mutandis, auch auf die Bewegungen des Mondes und der Planeten anwenden. Wir haben nämlich geſehen, daß z. B. die Einwirkung der Sonne auf den Mond, außer der Tangentialkraft, deren Wirkung wir jezt bei Seite ſezen, auch eine Kraft in der Richtung des Radius Vectors hervorbringt, die nicht demſelben Geſeze folgt, wie die direkte Schwerkraft der Erde. Durch die Verbindung dieſer Radialkraft mit der Erdattraction wird demnach der Mond in eine Bahn abgelenkt werden, die von der elliptiſchen Geſtalt abweicht, indem ſie, vom Perigeum an gerechnet, entweder eine zu große oder zu geringe Krümmung annimmt, als daß das Apogeum genau bei 180° Abſtand vom Perigeum erfolgen könnte. Zu groß wird die Krümmung ſeyn, wenn die auf dieſe Art ſich bildende vereinigte Kraft langſamer abnimmt, als nach dem umgekehrten Quadrat der Entfernung, d. h. wenn ihre Wirkung in den größeren Abſtänden zu ſtark iſt; zu gering wird dieſelbe ſeyn, wenn die vereinigte Kraft ſchneller abnimmt, als die Schwere, oder als nach dem umgekehrten Quadrate der Entfernung, wenn folglich ihre Wirkung bei den größeren Abſtänden zu ſchwach iſt. Im erſtern Falle wird die zu große Krümmung den Mond früher ſein Apogeum erreichen laſſen, als es in einer genau elliptiſchen Bahn geſchehen würde, (ſiehe Fig. 70 a) und im lezterern, wo die Krümmung nicht hinreichend iſt, wird das Umgekehrte ſtattfinden, der Mond folglich ſpäter zu ſeinem Apogeum gelangen (Fig. 70 b.) In jenem Falle wird demnach die Linie der Apſiden zurückſchreiten, und in dieſem vorrücken.

572) Je nach den verſchiedenen Configurationen der Sonne und des Mondes treten dieſe beiden Fälle ein. In den Syzygien beſteht die Wirkung der Sonnenattrac-

tion darin, die Schwerkraft der Erde durch eine Kraft zu vermindern, welche ſich nicht im umgekehrten Verhältniſſe des Quadrats der Entfernung des Mondes von der Erde, ſondern nahezu im direkten Verhältniſſe dieſer Entfernung ſelbſt, verändert; während in den Quadraturen der umgekehrte Fall eintritt, indem hier die ganze Wirkung der ſtörenden Radialkraft, welche, wie vorhin, gleichfalls im direkten Verhältniſſe der Entfernung ſteht, ſich der Schwerkraft der Erde hinzugeſellt. Zur Zeit der erſtgenannten Configurationen wird ſich folglich der Mond in einer Ellipſe bewegen, deren Apſiden vorrücken, und bei den leztgenannten in einer ſolchen, wo ſie zurückſchreiten. Wir haben aber bereits geſehen, (Art. 556) daß aus allen dieſen, bei den einzelnen Configurationen ſtattfindenden Wirkungen der ſtörenden Kraft, im mittlern Durchſchnitte eine Verminderung der Schwerkraft der Erde hervorgeht. Nach Vollendung eines ganzen Mondsumlaufes werden daher, im Ganzen genommen, die Apſiden ſeiner Bahn vorgerückt ſeyn.

573) Die bisherigen Erläuterungen geben uns eine hinreichend genügende Rechenſchaft von dem Vorrücken des Mondsapogeums im Allgemeinen; wenn wir ſie jedoch anwenden wollen, um die Geſchwindigkeit dieſes Vorrückens nummeriſch zu beſtimmen, ſo ſtoßen wir auf eine beſondere Schwierigkeit, indem wir alsdann bei weitem nicht den ganzen Betrag dieſer Bewegung, wie er aus den Beobachtungen ſich ergibt, ſondern etwa nur die Hälfte deſſelben, durch ſie erklärt finden. Es hat aber der noch übrig bleibende Theil ſeinen Grund in der Wirkung der Tangentialkraft. In der That iſt einleuchtend, daß aus einer Vergrößerung der Tangentialgeſchwindigkeit des Mondes eben ſo eine Verringerung der Krümmung ſeiner Bahn hervorgehen muß, als aus einer Verminderung der Centralkraft, und umgekehrt. Nun beſteht die direkte Wirkung der Tangentialkraft darin, die r e i n e l l i p t i ſ ch e Geſchwindigkeit des Mondes bald zu vergrößern, bald zu verkleinern, und es wird folglich auch durch ſie ein abwechſelndes Vorrücken und Zurückſchreiten ſeines Apogeums hervorgebracht werden. Dieſe Wirkungen würden ſich indeſſen nach jedem ſyno-

diſchen Umlaufe ausgleichen, wenn das Apogeum unveränderlich wäre. Allein dieſes iſt nicht der Fall, da daſſelbe in Folge der Wirkung der Radialkraft, wie wir oben erläutert haben, ſchnell vorrückt. Es wird daher (nach der in dieſem Kapitel ſchon ſo oft in Anwendung gebrachten Schlußfolgerung) ein unausgeglichener Theil der Wirkungen der Tangentialkraft übrig bleiben, und dieſe nicht ausgeglichenen Wirkungen ſind in der Bahn ſo vertheilt, daß ſie ſich mit der Wirkuug der Radialkraft vereinigen, und den Betrag der leztern nahezu verdoppeln. Nach der Sprache der Geometer iſt dieſes derjenige Theil der Bewegung des Apogeums, der von dem Quadrate der ſtörenden Kraft herrührt. Die Wirkungen der Tangentialkraft auf das Apogeum würden ſich völlig ausgleichen, wenn lezteres nicht bereits durch die Wirkung der Radialkraft eine Bewegung erhalten hätte, und es entſteht hier alſo eine Störung durch die Reaction einer andern Störung.

574) Die merkwürdige und verwickelte Art der Störung, welche im vorhergehenden Artikel beſchrieben worden iſt, hat den Geometern viel größere Schwierigkeiten verurſacht, als irgend ein anderer Theil der Mondstheorie. Newton ſelbſt war es zwar gelungen, den Theil der Bewegung des Apogeums, der von der direkten Wirkung der Radialkraft herrührt, auszumitteln; dadurch aber, daß er den Betrag dieſer Bewegung nur halb ſo groß fand, als die Beobachtung ihn zeigt, ſcheint er entmuthigt worden zu ſeyn und dieſen Gegenſtand verlaſſen zu haben. Seine Nachfolger, welche denſelben wieder aufnahmen, ſind in ihren Unterſuchungen eine lange Zeit hindurch nicht glücklicher geweſen. Im Gegentheile fanden ſie Newton's Reſultat auf das genaueſte beſtättigt, und die vielen mühſamen Nachforſchungen, welche man ohne Erfolg dieſem Gegenſtande widmete, fingen bereits an, ernſtlichen Zweifel zu erregen, ob dieſe Erſcheinung bei den Bewegungen des Mondes überhaupt durch das Newton'ſche Geſez der allgemeinen Schwere erklärt werden könne. Der Zweifel wurde indeſſen faſt in dem Momente ſeines Entſtehens wieder entfernt, und zwar durch denſelben Geometer Clairaut, welcher zuerſt ihn erho-

ben hatte, und der auf eine ruhmvolle Weiſe den Irrthum ſeines augenblicklichen Schwankens ſelbſt verbeſſerte, indem er nachwies, daß zwiſchen Theorie und Beobachtung eine genaue Uebereinſtimmung herrſche, wenn man die Wirkung gehörig berückſichtige. Das Mondsapogeum macht, wie bereits im Art. 360 bemerkt worden iſt, in ungefähr neun Jahren einen ganzen Umlauf.

575) Die nämliche Urſache, welche die Veränderung der Lage der Apſidenlinie der geſtörten Bahn bewirkt, bringt auch eine entſprechende Veränderung in ihrer Excentricität hervor. Dieſes wird durch einen Blick auf die Figuren 70 a und 70 b ſogleich einleuchtend. Da, bei der erſten Figur, auf den geſtörten Körper, während er von der untern Apſide zur obern fortſchreitet, eine Centralkraft einwirkt, größer als diejenige, die ihn eine Ellipſe beſchreiben laſſen würde, ſo durchläuft er eine Bahn, welche eine ſtärkere Krümmung annimmt, und die in Folge hiervon gänzlich innerhalb der Ellipſe liegen wird, wie die punktirte Linie es anzeigt. Iſt daher der Körper zu der obern Apſide gekommen, ſo wird ſein Abſtand vom Centralkörper kleiner ſeyn, als er in der ungeſtörten Ellipſe ſeyn würde; d. h. mit andern Worten, die Excentricität ſeiner Bahn wird, da ſich dieſelbe durch das Verhältniß der Entfernungen der beiden Apſiden vom Brennpunkte beſtimmt, kleiner geworden ſeyn, und die Bahn ſich der Kreisform mehr genähert haben. In dem Falle der zweiten Figur wird das Gegentheil eintreten. Man ſieht hieraus, daß zwiſchen der momentanen Verrückung des Periheliums der geſtörten Bahn und der momentanen Veränderung ihrer Excentricität eine gegenſeitige Abhängigkeit ſtattfindet, ungefähr in der nämlichen Weiſe, in welcher die Veränderungen der Neigung und die Bewegung des Knotens mit einander in Verbindung ſtehen. In der That zeigt die ſtrenge mathematiſche Theorie eine enge Verwandtſchaft zwiſchen dieſen beiderſeitigen Veränderungen, und die Endreſultate, auf welche ſie führt, ſind ganz von der nämlichen Natur. Was die Veränderung der Excentricität für die Bewegung des Periheliums iſt, daſſelbe iſt die Veränderung der Neigung für die Bewegung des Knotens. Bei jenen ſowohl, wie

bei dieſen, ſind die Perioden der zuſammengehörigen Veränderungen einander gleich, und während die Perihelien entweder vermöge einer oſcillatoriſchen Bewegung ſich um beträchtliche Winkel dieſſeits und jenſeits von ihrer urſprünglichen Lage entfernen, oder in einem unermeßlichen Zeitraume den ganzen Umkreis durchlaufen, erfahren auch die Excentricitäten entſprechende, kleine Veränderungen, und erlangen zulezt ihre urſprüngliche Größe wieder. So wie, bei der Mondsbahn, der ſchnelle Umlauf der Knoten verhindert, daß die Veränderungen der Neigung zu irgend einer beträchtlichen Größe ſich anſammeln, eben ſo bewirkt der noch weit ſchnellere Umlauf der Apſiden eine raſche Ausgleichung der Veränderungen der Excentricität, ſo daß auch dieſe ſich niemals zu einem merklichen Betrage anhäufen können. Indem nämlich dieſe ſchnellen Umläufe der Knoten und der Apſiden bewirken, daß die Mondsbahn in raſcher Aufeinanderfolge alle möglichen Lagen in Bezug auf die ſtörenden Kräfte erhält, mögen dieſe von der Sonne, von den Planeten, oder von der Erhöhung des Erdäquators herrühren, verhindern ſie eine jede Säcularanhäufung kleiner Veränderungen, durch welche im Laufe der Jahrhunderte die Ellipticität der Mondsbahn weſentlich vergrößert oder verringert werden könnte. Wirklich zeigen auch die Beobachtungen, daß die mittlere Excentricität der Mondsbahn jezt noch dieſelbe iſt, wie ſie in den früheſten Zeiten der Aſtronomie war.

576) Die Bewegungen der Perihelien und die Veränderungen der Excentricitäten der Planetenbahnen ſind auf die nämliche Weiſe und faſt nach den nämlichen Geſezen in einander verflochten und verwebt, wie die Bewegungen ihrer Knoten und die Aenderungen ihrer Neigungen. Eine jede von ihnen übt ihren Einfluß auf alle übrigen, und jede ſolche wechſelſeitige Einwirkung hat ihre eigene, beſondere Ausgleichungsperiode, welche ſich ſodann, in Folge des im Art. 526 aufgeſtellten Princips, bei allen übrigen Theilen des Syſtems wiederholt. Auf dieſe Art häufen ſich Cyklen auf Cyklen, und um ſich einen Begriff von der vereinigten Dauer derſelben zu machen, brauchen wir nur die Länge von einer ſol-

chen Periode bei den zwei Hauptplaneten Jupiter und Saturn näher zu betrachten. Vernachläßigt man den Einfluß aller übrigen Planeten, ſo variirt, in Folge der alleinigen gegenſeitigen Anziehung der beiden genannten Himmelskörper, die Excentricität der Saturnsbahn zwiſchen den Gränzen 0,08409, dem *größten* Werthe derſelben, und 0,01345, ihrem *kleinſten* Werthe, und die Excentricität der Jupitersbahn zwiſchen den engern Grenzen 0,06036 und 0,02606, wobei die größte Excentricität der Jupitersbahn der kleinſten Excentricität der Saturnsbahn entſpricht, und umgekehrt. Nun umfaßt die Periode dieſer Veränderungen den großen Zeitraum von 70414 Jahren. Nach dieſem Beiſpiele wird man leicht begreifen, daß viele Millionen von Jahren erforderlich ſeyn werden, um vollſtändig den vereinigten Cyclus auszufüllen, der das ganze Planetenſyſtem, blos hinſichtlich der Excentricitäten der Bahnen, wieder in ſeinen urſprünglichen Zuſtand verſezt.

577) Der Ort des Periheliums eines Planeten iſt von geringem Einfluß auf ſeine phyſiſche Beſchaffenheit, aber die Excentricität iſt in dieſer Hinſicht ein ſehr wichtiges Element, weil die mittlere Temperatur ſeiner Oberfläche, ſo wie die Extreme der Veränderungen, denen die Jahreszeiten auf demſelben unterliegen können, von ihr abhängen, indem die großen Axen der Bahnen unveränderlich ſind. Es läßt ſich in der That leicht zeigen, daß die *mittlere jährliche Quantität* Licht und Wärme, welche ein Planet von der Sonne empfängt, unter ſonſt gleichen Umſtänden, der kleinen Axe der Ellipſe, die er beſchreibt, proportional iſt;*) und es wird folglich, da die kleine Axe von der Excentricität abhängt, jede Aenderung der leztern auch eine Veränderung der *mittlern* Temperatur der Oberfläche des Planeten zur Folge haben. Auf welche Weiſe eine ſolche Aenderung auch auf die Extreme der Temperatur einwirkt, erhellet aus Art. 315. — Hiernach iſt es nun ſehr natürlich, die Frage aufzuwerfen, ob es ſich nicht in dem unermeßlichen

*) Siehe „On the Astronomical Causes which may influence Geological Phaenomena" in den Geological Transactions 1832.

Cyclus, von dem wir vorhin geſprochen haben, zu irgend einer Zeit einmal ereignen könne, daß die mannichfachen Veränderungen, denen die Planetenbahnen unterworfen ſind, in der Art zuſammenwirken, daß dadurch die Excentricität der Bahn eines andern Planeten, z. B. der Erde, außerordentlich groß wird, wodurch alle Verhältniſſe, welche ſie für den Menſchen bewohnbar machen, umgeſtoßen, oder doch wenigſtens die größten Umänderungen in dem phyſiſchen Zuſtande derſelben herbeigeführt werden würden. Die Unterſuchungen der Geometer haben uns in den Stand geſezt, dieſe Frage verneinend zu beantworten. Lagrange hat bewieſen, daß zwiſchen den Maſſen der Planeten, den großen Axen ihrer Bahnen und den Excentricitäten derſelben, ein Verhältniß beſteht, welches demjenigen ähnlich iſt, das wir oben hinſichtlich der Neigungen der Bahnen bereits angeführt haben. Es lautet ſo: — „Multiplicirt man, für ſämmtliche Planeten, die Maſſe eines jeden mit der Quadratwurzel aus der großen Axe ſeiner Bahn und mit dem Quadrate der Excentricität derſelben, ſo iſt die Summe aller dieſer Produkte ſtets unveränderlich dieſelbe." Und da dieſe Summe gegenwärtig ſehr klein iſt, ſo wird ſie für immer ſo ſeyn. Weil aber die großen Axen der Bahnen keinen Säcularänderungen unterworfen ſind, ſo folgt aus dieſem Saze, daß die Excentricität irgend einer Bahn nicht anders zunehmen kann, als auf Koſten eines gemeinſchaftlichen Fonds, deſſen ganzer Betrag außerordentlich klein iſt, und es für immer bleiben wird.*)

578) Wir haben im Art. 575 auf Störungen der

*) Durch den obigen Saz, für ſich genommen, würde es indeſſen nicht verbürgt werden, daß auch die kleineren Planeten, Merkur, Mars, Juno, Ceres u. ſ. w., keine gänzliche Umänderung ihrer Bahnen erfahren, wenn dieſe, oder einer von ihnen, den ganzen Betrag jenes gemeinſchaftlichen Excentricitätenfonds ſich allein zueignen könnten. Aber dieſes iſt niemals möglich, da Jupiter und Saturn immer den Antheil des Löwen daran behalten werden. Dieſelbe Bemerkung gilt von dem Fond für die Neigungen (Art. 515.) Beide Fonds können auch, wie wir hinzufügen wollen, niemals in Schulden gerathen, da jeder Theil derſelben ſeiner Natur nach poſitiv iſt. —

Mondsbahn hingedeutet, die durch die Erhöhung des Erdäquators hervorgebracht werden. Die Anziehung einer Kugel iſt die nämliche, als wenn ihre ganze Maſſe im Mittelpunkte derſelben vereinigt wäre; aber dieſes iſt nicht der Fall bei einem Sphäroid. Die Attraction eines ſphäroidiſchen Körpers iſt weder genau nach ſeinem Centrum gerichtet, noch folgt ſie in aller Strenge dem Geſeze des umgekehrten Verhältniſſes des Quadrats der Entfernung. Hieraus werden in den Bewegungen des Mondes mehrere zwar ſehr kleine, aber doch noch bemerkbare Störungen entſpringen, welche den Knoten und das Apogeum deſſelben afficiren. Eine noch bemerkenswerthere Folge hiervon iſt indeſſen eine kleine Nutation der Mondsbahn, vollkommen derjenigen analog, welche die Ebene des Erdäquators, vermöge der Wirkung des Mondes auf die elliptiſche Hervorragung deſſelben, erfährt. Ueberhaupt muß bemerkt werden, daß bei jenen Planeten, welche Satelliten haben, die elliptiſche Geſtalt des Hauptplaneten ein Beſtreben äußert, die Ebenen der Satellitenbahnen mit der Ebene ſeines Aequators zuſammenfallen zu machen, ein Beſtreben, das zwar bei der Erde nur ſchwach hervortritt, aber bei dem Jupiter, der eine ſehr elliptiſche Geſtalt hat, und namentlich bei dem Saturn, wo die Wirkung der Ellipticität des Hauptkörpers noch durch die Anziehung der Ringe verſtärkt wird, ſo beträchtlich iſt, daß es vor jeder äußern oder innern Urſache einer Störung vorherrſcht, und bewirkt, daß die Ebenen der Satellitenbahnen dieſer Planeten faſt genau mit der Ebene ihres Aequators zuſammenfallen und in dieſer Lage erhalten werden. Wenigſtens iſt dieſes bei den Satelliten, die dem Hauptplaneten zunächſt ſtehen, der Fall. Auf die entferntern wirkt dieſe Urſache verhältnißmäßig weit weniger, indem der Unterſchied der Attractionen einer Kugel und eines Sphäroids äußerſt ſchnell abnimmt, wenn die Entfernungen des angezogenen Körpers größer werden. Daher kommt es, daß, während die Bahnen der ſechs inneren Trabanten des Saturn faſt genau in der Ebene der Ringe und des Aequators dieſes Planeten liegen, die Bahn des äußern ſiebenten, deſſen Entfernung vom Saturn 60 bis 70

mal größer iſt, als der Durchmeſſer des leztern, eine beträchtliche Neigung gegen jene Ebene beſizt. Auf der andern Seite wird, aus dem nämlichen Grunde, durch die große Entfernung dieſes Satelliten, welche ihm geſtattet, ſeine wirkliche Neigung beizubehalten, verhindert, daß die Attraction deſſelben irgend einen merklichen Einfluß auf die Ebene des Ringes und des Aequators des Planeten äußert, oder in ihr Bewegungen hervorbringt, die unſerer Präceſſion und Nutàtion analog ſind. Wenn dergleichen exiſtiren, ſo müſſen ſie viel langſamer von Statten gehen, als bei dem Aequator unſerer Erde; denn einerſeits macht die Maſſe dieſes Satelliten, obgleich er von allen Saturnstrabanten der größte iſt, doch, ſo viel ſich wenigſtens nach ſeinen ſcheinbaren Dimenſionen urtheilen läßt, einen viel kleinern Bruch von der Maſſe des Saturn aus, als die Maſſe unſers Mondes von der Erdmaſſe, und andererſeits muß die durch die Wirkung der Sonne hervorgebrachte Präceſſion, wegen der außerordentlichen Entfernung derſelben, durchaus unmerklich ſeyn.

579) Durch die Vergleichung der Störungen der Planeten, wie wir ſie aus den Beobachtungen folgern, mit der theoretiſchen Entwickelung derſelben, werden wir in den Stand geſezt, die Maſſen derjenigen Planeten zu beſtimmen, die keine Satelliten haben, und zu deren Erforſchung es kein anderes Mittel gibt. Jeder Planet bringt in den Bewegungen aller übrigen eine Störung hervor, die im Verhältniß zu ſeiner Maſſe und zu der Stellung ſteht, welche derſelbe in dem Syſteme einnimmt. Dieſes Verhältniß läßt ſich durch Rechnung genau angeben, die unbekannte Maſſe des ſtörenden Planeten ſelbſt aber kann nur aus der beobachteten Größe der Wirkungen, die ſie hervorbringt, beſtimmt werden. Bei dieſer Art, die Maſſen der Planeten zu erforſchen, wird indeſſen die Beobachtung ſehr weſentlich durch die Theorie unterſtüzt, indem dieſe die vortheilhafteſten Combinationen an die Hand gibt, durch welche jene Maſſenbeſtimmung, bei der großen Menge von Wirkungen, die zu gleicher Zeit auf den beobachteten Ort eines Planeten influiren, am ſicherſten erhalten wird, indem ſie ferner die Geſeze

feſtſtellt, nach denen jede Ungleichheit periodiſch wächst und wieder abnimmt, und indem ſie zeigt, in welchem Verhältniſſe jede einzelne Ungleichheit hinſichtlich ihrer Größe zu der Maſſe ſteht, durch die ſie erzeugt wird. Auf dieſe Weiſe hat man neuerlich ſelbſt die Jupitersmaſſe, welche Laplace bei ſeinen Unterſuchungen anwandte, und die bei der Conſtruktion ſämmtlicher Planetentafeln angenommen worden iſt, aus den beobachteten Wirkungen derſelben auf die Bewegungen der vier neuen Planeten wiederholt hergeleitet, und gefunden, daß die frühere Beſtimmung derſelben ziemlich fehlerhaft war, weil dieſe ſich zu ſehr auf die Beobachtungen der Jupiterstrabanten gründete, welche ſchon vor langer Zeit von Pound und andern mit unzureichenden Inſtrumentalmitteln angeſtellt worden ſind. Die Störungen, welche Jupiter auf die Bewegung des Encke'ſchen Kometen ausübt, haben dieſes Reſultat vollkommen beſtättigt; auch aus ihnen hat ſich faſt genau dieſelbe Jupitersmaſſe ergeben, wie aus den Störungen der neuen Planeten. Die Entdeckung dieſes Fehlers war eine Sache von großer Wichtigkeit, indem die Maſſe des Jupiter, nächſt derjenigen der Sonne, bei weitem das einflußreichſte Element in dem ganzen Planetenſyſteme iſt. Es dient daher zur Beruhigung, daß man zugleich auch die wahre Quelle jenes Fehlers ausfindig gemacht hat. Airy's neuere Beobachtungen haben nämlich gezeigt, daß derſelbe lediglich in der Ungenauigkeit der ältern mikrometriſchen Meſſungen der größten Elongationen der Jupiterstrabanten ſeinen Grund hat, und daß er gänzlich wegfällt, wenn man Meſſungen dieſer Art, die mit größerer Sorgfalt und weit vollkommneren Inſtrumenten angeſtellt ſind, jenen früheren ſubſtituirt.

580) Auf dieſelbe Weiſe, wie die Störungen der Planeten uns das Verhältniß ihrer Maſſen zur Sonnenmaſſe kennen lehren, haben auch die Störungen der Jupiterstrabanten zur Kenntniß des Verhältniſſes geführt, in welchem die Maſſen dieſer zu der Maſſe des Hauptplaneten ſtehen. Eben ſo werden wir ohne Zweifel aus den Störungen der Saturnstrabanten das Verhältniß ihrer Maſſen zu der des Saturn künftig noch kennen

lernen. Das Syſtem der Jupitersſatelliten hat Laplace ſehr ſorgfältig bearbeitet, und aus der Vergleichung ſeiner Theorie mit unzähligen Beobachtungen der Verfinſterungen derſelben ſind eben jene Werthe ihrer Maſſen hervorgegangen, welche wir im Art. 463 angegeben haben. Wohl wenige Reſultate der Theorie ſind mehr geeignet, uns in Erſtaunen zu ſezen, als dieſe winzigen Atome auf derſelben Waage gewogen zu ſehen, welche wir für die ſchwere Laſt der Sonne angewendet haben, deren Gewicht das des kleinſten derſelben 65 Millionen mal übertrifft.

Zwölftes Kapitel.

Von den Fixſternen.

Allgemeine Bemerkungen über die Fixſterne. — Eintheilung derſelben in Klaſſen nach ihrer ſcheinbaren Größe. — Ihre Vertheilung am Himmelsgewölbe. — Von der Milchſtraße. — Jährliche Parallaxe. — Wirkliche Entfernung, wahrſcheinliche Größe und Beſchaffenheit der Fixſterne. — Veränderliche Sterne. — Nur zu einzelnen Zeiten ſichtbare Sterne. — Von den Doppelſternen. — Ihre Umdrehung um einander in elliptiſchen Bahnen. — Ausdehnung des Geſezes der Schwere auf ſolche Sternſyſteme. — Von farbigen Sternen. — Eigene Bewegung der Sonne und der Fixſterne. — Aberration und Parallaxe eines Fixſternſyſtems. — Von zuſammengehörigen Sternſyſtemen. — Sternhaufen. — Nebelflecke. — Nebelſterne. — Ringförmige und planetenartige Nebelflecke. — Das Zodiakallicht.

581) Außer den Körpern, welche wir in den vorhergehenden Kapiteln näher betrachtet haben, erblicken wir am Himmelsgewölbe noch eine unzählige Menge anderer leuchtender Punkte, die unter dem gemeinſchaftlichen Namen der Sterne begriffen ſind. Obgleich ſie einzeln genommen, nicht nur hinſichtlich ihres Glanzes, ſondern auch in manchen anderen weſentlichen Punkten, ſich ſehr von einander unterſcheiden, ſo ſtimmen ſie doch alle in einer Eigenſchaft überein, darin nämlich, daß ihre gegenſeitige ſcheinbare Stellung faſt unveränderlich dieſelbe bleibt. Hierdurch haben ſie die Benennung von „Fixſternen" erhalten, ein Ausdruck, der indeß nicht in abſolutem, ſondern nur in relativem Sinne genommen werden muß, da viele von ihnen, wie man gewiß weiß, wahrſcheinlich aber alle, ſich im Zuſtande der Bewegung befinden, die indeß ſo äußerſt langſam vor ſich geht, daß

ſie nur mittelſt ſehr ſcharfer und eine lange Reihe von Jahren hindurch fortgeſezter Beobachtungen ſich bemerklich macht.

582) Es findet bei den Aſtronomen der Gebrauch ſtatt, die Sterne nach ihrem ſcheinbaren Glanze in Klaſſen abzutheilen, welche man die Größen derſelben nennt. Von den hellſten Sternen ſagt man, ſie ſeyen von der erſten Größe; diejenigen, die an Glanz dieſen ſchon ſo viel nachſtehen, daß der Unterſchied bemerkbar iſt, ſind von der zweiten Größe, und ſo fährt dieſe Abſtufung fort bis zu Sternen der ſechsten oder ſiebenten Größe, zu welchen Klaſſen die kleinſten Sterne gehören, die man noch mit freiem Auge in der dunkelſten Nacht und bei dem heiterſten Himmel erkennen kann. Mit Hülfe der Fernröhre wird indeſſen dieſe Klaſſifikation der Sterne nach dem Grade ihrer Helligkeit und Sichtbarkeit noch weiter fortgeſezt, und diejenigen, denen der Gebrauch ſehr kraftvoller Inſtrumente zu Gebote ſteht, unterſcheiden noch die Sterne nach ihren Größen von der 8ten bis 16ten hinab. Es iſt aber durchaus kein Grund vorhanden, für dieſe Progreſſion irgend eine beſtimmte Gränze anzunehmen, da eine jede Vervollkommnung der Kraft der Fernröhre, welche durch die allmähligen Fortſchritte der Wiſſenſchaft der Optik nach und nach erlangt wurde, ſtets eine zahlloſe Maſſe von neuen Gegenſtänden am Himmel hat erkennen laſſen, die vorher noch unſichtbar waren; ſo daß nach Allem, was die bisherigen Erfahrungen uns in dieſer Hinſicht gelehrt haben, die Anzahl der Sterne wirklich unendlich iſt, in dem Sinne, den wir allein mit dieſem Worte verbinden können.

583) Dieſe Klaſſifikation der Sterne nach ihren ſcheinbaren Größen iſt übrigens, wie bemerkt werden muß, durchaus willkührlich. Unter einer Maſſe von ſolchen leuchtenden Körpern, die wahrſcheinlich, ihrer wirklichen Größe und Helligkeit nach, ſehr von einander verſchieden ſind, und ſich in ungleichen Entfernungen von uns befinden, muß nothwendig einer als der glänzendſte erſcheinen, ein anderer zunächſt ſchwächer als dieſer, und ſo fort. Eine ſolche Aufeinanderfolge, (die ſich hiernach nur auf den Ort, den wir unter ihnen einnehmen, bezieht) muß

ſtattfinden, aber die Feſtſtellung der verſchiedenen Abſtufungen bei dieſer unendlichen Progreſſion, von dem glänzendſten Sterne abwärts bis zu demjenigen, der ſich unſern Blicken gänzlich entzieht, iſt eine Sache der reinen Willkühr. Es beruht dieſelbe lediglich auf Uebereinkunft. Das Bedürfniß hat indeſſen eine ſolche Uebereinkunft herbeigeführt; und obgleich es unmöglich iſt, genau oder a priori anzugeben, wo die eine Größe aufhört und die nächſtfolgende anfängt, und obſchon die Beobachter in der Angabe der Größen der einzelnen Sterne, zumal der kleineren, öfter von einander abweichen, ſo ſtimmen ſie doch im Ganzen genommen, darin überein, daß ſie zur erſten Klaſſe, welche die Sterne erſter Größe begreift, nur etwa die 15 bis 20 hellſten Sterne rechnen, zur zweiten 50 bis 60 weniger glänzende, zur dritten ungefähr 200 noch kleinere, und ſofort. Man ſieht hieraus, daß mit der Abnahme des Grades der Helligkeit die Menge der ihm entſprechenden Sterne außerordentlich zunimmt, und wirklich beläuft ſich die Geſammtzahl aller bereits in Verzeichniſſe gebrachten Sterne, bis einſchließlich zur ſiebenten Größe herab, ſchon auf fünfzehn bis zwanzig Tauſend.

584) Da wir bei keinem Fixſterne die wirkliche Scheibe deſſelben ſehen, ſondern die Stärke ſeines Lichtes blos nach dem Totaleindrucke beurtheilen, den er auf unſer Auge macht, ſo wird die ſcheinbare „Größe" eines jeden Fixſterns offenbar abhängen: 1) von der Entfernung deſſelben von uns; 2) von der abſoluten Größe ſeiner leuchtenden Oberfläche, und 3) von dem wirklichen Glanze dieſer Oberfläche. Da nun alle dieſe Elemente uns gänzlich, oder ſo gut wie gänzlich, unbekannt ſind, und da, aller Wahrſcheinlichkeit nach, jedes derſelben bei den einzelnen Individuen in dem Verhältniſſe von vielen Millionen zu eins verſchieden iſt, ſo iſt einleuchtend, daß wir keine Ausſicht haben, aus den bloßen Beſtimmungen der Anzahl der Fixſterne, die zu den einzelnen, von uns künſtlich gebildeten Klaſſen gehören, irgend befriedigende Folgerungen zu ziehen. In der That haben die Aſtronomen ſich bis jezt noch nicht über ein Geſez vereinigt, das die Anordnung der Größen der Fixſterne nach pho-

tometriſchen Grundſäzen beſtimmte, obgleich ſich erkennen läßt, daß dieſes Geſez auf eine geometriſche Progreſſion hindeutet, von der jedes Glied die Hälfte des vorhergehenden iſt.*) Nichts deſto weniger wäre es ſehr wünſchenswerth, daß man alle dieſe willkührlichen Abtheilungen bei Seite ſezte, und die ſcheinbare Helligkeit jedes Sterns durch nummeriſche Verhältniſſe beſtimmte, die ſich auf genaue photometriſche Verſuche gründen. Hierdurch würde man eine Art von naturhiſtoriſchen, definitiven Kennzeichen erlangen, das zugleich als Vergleichungspunkt diente, um etwanige Veränderungen, welche die Fixſterne erfahren können, zu conſtatiren. Solche Veränderungen werden wenigſtens bei einigen Sternen mit Beſtimmtheit wahrgenommen, und es läßt ſich daher wohl die Möglichkeit denken, daß ſie bei allen ſtattfinden. Als eine erſte Annäherung wird man einſtweilen die nachſtehenden Lichtverhältniſſe annehmen können, wie ſie aus der Vergleichung der Verſuche, die Sir William Herſchel an einigen wenigen ausgewählten Sternen angeſtellt hat,**) gefolgert worden ſind:

Licht eines Sterns von mittlerer	erſter Größe	=	100
— — — — —	zweiter —	=	25
— — — — —	dritter —	=	12?
— — — — —	vierter —	=	6
— — — — —	fünfter —	=	2
— — — — —	ſechster —	=	1

Durch meine eigenen Verſuche habe ich gefunden, daß das Licht des Sirius (des hellſten von allen Fixſternen) ungefähr den 324fachen des Lichtes eines Sterns von mittlerer ſechster Größe gleichkommt.***)

585) Wenn die Vergleichung der ſcheinbaren Größen der Fixſterne mit der in jeder Klaſſe enthaltenen Anzahl

---

*) Struve, Catalogus stellarum duplicium. p. XXXV.

**) Philosophical Transactions, 1817.

***) Transact. Astron. Society, III. 183.
— Man ſehe auch über dieſen Gegenſtand das neuere, treffliche Werk des Prof. von Steinheil: Elemente der Helligkeitsmeſſungen am Sternenhimmel; eine von der Göttinger Academie gekrönte Preisſchrift. München 1836. — R.

derſelben zu keinem beſtimmten Schluſſe führt, ſo läßt ſich dagegen eher eine Verbindung zwiſchen ihnen und der Vertheilung der Sterne am Himmelsgewölbe wahrnehmen. Hier finden wir in der That, inſofern wir uns auf die drei oder vier erſten Klaſſen beſchränken, daß die zu dieſen gehörigen Fixſterne ziemlich gleichmäßig am Himmel vertheilt ſind; betrachten wir aber alle Sterne die dem freien Auge ſichtbar ſind, zuſammengenommen, ſo bemerken wir eine raſche und außerordentliche Zunahme ihrer Anzahl, ſobald wir uns den Gränzen der Milchſtraße nähern. Und kommen wir weiter zu den teleskopiſchen Sternen, ſo überſteigt die dichte Zuſammendrängung derſelben in der ganzen Ausdehnung dieſer Zone und in den Zweigen, welche von ihr ausgehen, alle unſere Begriffe, ſo daß in der That (Art. 253) das ganze Licht jenes Gürtels aus nichts anderm, als aus lauter Sternen beſteht, deren mittlere ſcheinbare Größe etwa die zehnte oder eilfte ſeyn mag.

586) Dieſe Erſcheinungen ſtehen im Einklang mit der Annahme, daß die Sterne an unſerm Firmamente, ſtatt nach allen Richtungen hin ohne Unterſchied im Weltraume zerſtreut zu ſeyn, vielmehr eine Schichte bilden, deren Dicke, im Vergleich zu ihrer Ausdehnung in die Länge und Breite, gering iſt, und innerhalb welcher die Erde einen Ort einnimmt, der ſich ungefähr in der Mitte dieſer Dicke und nahe an der Stelle befindet, wo ſich die Schichte in zwei Hauptarme, die unter einem kleinen Winkel gegen einander geneigt ſind, zertheilt. Denn es iſt einleuchtend, daß von einem ſolchen Standpunkte aus, die ſcheinbare Zuſammenhäufung der Sterne, unter der Annahme, daß dieſe in dem Raume, den ſie einnehmen, ziemlich gleichmäßig vertheilt ſind, dem Auge am wenigſten dicht erſcheinen muß, wenn die Geſichtslinie nach der Dicke der Schichte gerichtet iſt, wie nach SA (Fig. 71) und am ſtärkſten, wenn dieſe Richtung nach der Breite oder Länge derſelben geht, wie nach SB, SC, SD; wobei offenbar die Dichtigkeit der Sterne raſch zunehmen muß, wenn man von der erſten Richtung zu einer der lezteren übergeht, gerade ſo, wie wir einen leichten Dunſt in den über uns befindlichen Theilen der Atmoſphäre ſich

gegen den Horizont hin zu einer völligen Nebelbank verdichten ſehen, blos in Folge der raſchen Zunahme der Länge der Geſichtslinien. Dieſes iſt die Anſicht, welche Sir William Herſchel über die Einrichtung des geſtirnten Himmels aufgeſtellt hat, deſſen mächtige Teleſkope eine vollſtändige Auflöſung jener wundervollen Zone bewirkt und die Thatſache erwieſen haben, daß dieſelbe aus lauter Sternen beſteht. An einigen Stellen der Milchſtraße ſind die Sterne ſo dicht zuſammengedrängt, daß er durch eine Schäzung der Zahl derjenigen, die zu gleicher Zeit in dem Geſichtsfelde ſeines Teleskops ſichtbar waren, zu dem Schluſſe geführt wurde, daß in einer Zone von zwei Grad Breite während einer einzigen Stunde wenigſtens 50000 Sterne vor ſeinen Blicken vorübergingen. Die unermeßlichen Entfernungen, in denen die entlegenern Gegenden der Milchſtraße ſich von uns befinden müſſen, erklären hinlänglich die große Ueberzahl der Sterne von geringen ſcheinbaren Größen, welche man in derſelben wahrnimmt.

587) Wenn wir von der vergleichungsweiſe größern oder geringern Entfernung einzelner Theile des Fixſternhimmels ſprechen, ſo drängt ſich uns ſogleich von ſelbſt die Frage auf: Wie groß iſt die Entfernung des nächſten Fixſternes von uns? Nach welchem Maaßſtabe iſt das uns ſichtbare Firmament eingerichtet? Und in welchem Verhältniſſe ſtehen die Dimenſionen deſſelben zu denen unſers eigenen Sonnenſyſtemes? Auf alle dieſe Fragen eine genügende Antwort zu ertheilen, iſt indeſſen der Aſtronomie bis jezt unmöglich geweſen. Alles, was wir über dieſen Gegenſtand wiſſen, iſt negativer Art. Durch ſorgfältige Beobachtungen in Verbindung mit den Schlüſſen einer verfeinerten Theorie ſind wir zuerſt zu einer genauen Kenntniß der Dimenſionen unſerer Erde gelangt; ferner, indem wir dieſe als Baſis angenommen haben, zur Kenntniß der Dimenſionen ihrer Bahn um die Sonne; ſodann haben wir dadurch, daß wir zu unſern Standorten zwei entgegengeſezte Punkte des Umfangs der Erdbahn wählten, unſere Meſſungen bis zur äußerſten Gränze unſers Planetenſyſtems ausgedehnt, und mit Hülfe unſerer Kenntniſſe vom Laufe der Kome-

ten haben wir unſern Weg, ſo zu ſagen, noch um einige Schritte über die Bahn des entfernteſten, uns bekannten Planeten hinaus fortgeſezt. Aber zwiſchen dieſer entfernteſten Bahn und dem nächſten Fixſterne liegt ein Abgrund, deſſen Tiefe auch nur einigermaßen genau zu beſtimmen, die Beobachtungen uns bisher nicht erlaubt haben; und unmöglich iſt es, einen immerhin noch ſo großen Abſtand zu nennen, den die wirkliche Entfernung des nächſten Fixſternes nicht noch weit überſchreiten könnte.

388) Der Durchmeſſer der Erde iſt die Dreiecksbaſis, welche uns bei der Triangulirung unſeres Sonnenſyſtemes (Art. 226) dazu gedient hat, die Entfernung der Sonne zu berechnen; aber die außerordentliche Kleinheit der Parallaxe derſelben (Art. 304) macht die Berechnung dieſer Entfernung aus jenem „unvortheilhaften“ Dreicke (Art. 227) ſo äußerſt mißlich, daß nur durch eine glückliche Combination günſtiger Umſtände, welche die Vorübergänge der Venus vor der Sonne uns darbieten (Art. 409) ein Reſultat erlangt werden konnte, das eben noch Zutrauen verdient. Dagegen iſt der Durchmeſſer der Erde viel zu klein, um als Baſis zu einer direkten Triangulirung, die ſich bis zu den Gränzen unſers Planetenſyſtems erſtrekt, zu dienen, (Art. 449) und wir ſind daher, wenn wir dieſelbe ſo weit ausdehnen wollen, genöthigt, die jährliche Parallaxe ſtatt der täglichen in Anwendung zu bringen, oder, was auf daſſelbe hinausläuft, unſere Rechnung auf die relativen Geſchwindigkeiten der Erde und der Planeten in ihren Bahnen (Art. 414) zu gründen. Man hätte wohl erwarten ſollen, daß, bei einer Verlängerung der Grundlinie bis zu dem Betrage des ganzen Durchmeſſers der Erdbahn, der nächſte Fortſchritt in unſerer Triangulirung (Art. 227) ſich mit großem Vortheile würde machen laſſen, und daß die Veränderung unſers Standortes von dem einen Punkte der Erdbahnen bis zu dem entgegengeſezten wenigſtens eine meßbare jährliche Parallaxe bei den Fixſternen hervorbringen würde, die uns in den Stand geſezt hätte, ihre Entfernung von uns kennen zu lernen. Allein ſo ſehr man auch die Hülfsmittel der Beobachtung und Meſſung vervollkommnet und verfeinert hat, ſo iſt es den

Aſtronomen doch nicht möglich geweſen, in dieſer Hinſicht zu irgend einem poſitiven und übereinſtimmenden Reſultate zu gelangen; und es ſcheint daher erwieſen, daß dieſe Parallaxe, ſelbſt bei den nächſten Fixſternen, die man zu dieſem Zwecke mit der größtmöglichen Genauigkeit und Sorgfalt unterſucht hat, ſo unbedeutend iſt, daß ſie ſich gänzlich unter den zufälligen kleinen Beobachtungsfehlern, denen alle aſtronomiſchen Beſtimmungen unterworfen ſind, verbirgt und ſich mit ihnen vermiſcht. Der Grad der Schärfe, mit welcher ſolche Beobachtungen angeſtellt werden, iſt aber ſo groß, daß, wenn die fragliche Parallaxe nur eine Sekunde betrüge (d. h. wenn der Halbmeſſer der Erdbahn ſich an dem nächſten Fixſterne unter dieſem kleinen Winkel zeigte,) dieſelbe der Meſſung der Aſtronomen nicht entgehen, ſondern von ihnen übereinſtimmend erkannt werden würde.

589) Der Halbmeſſer eines Kreiſes verhält ſich in runder Zahl zu dem Sinus von einer Sekunde, wie 200,000 zu 1. Wenigſtens alſo in dieſem Verhältniſſe muß die Entfernung der Fixſterne von der Sonne größer ſeyn, als die Entfernung dieſer von der Erde. Die leztere Entfernung übertrifft aber, wie wir bereits geſehen haben, den Erdhalbmeſſer in dem Verhältniſſe von 24,000 zu 1, und dieſer beträgt, um endlich auf unſere gewöhnlichen Maaße zu kommen, 4000 engliſche Meilen. Die Entfernung der Fixſterne kann alſo nicht kleiner ſeyn, als 4,800,000,000 Halbmeſſer der Erde oder als 19,200,000,000,000 engliſche Meilen! Um wie viel ſie noch größer ſeyn mag, wiſſen wir nicht.

590) In ſolchen Zahlen verliert ſich die Einbildungskraft. Das einzige Mittel, welches wir beſizen, um die Größe ſolcher Räume zu faſſen, finden wir in der Zeit, die das Licht gebraucht, um ſie zu durchlaufen. Nun legt, wie wir wiſſen, das Licht in dem Zeitraum von einer Sekunde einen Weg von 192,000 engliſchen Meilen zurück, und es würde demnach, wie vorhin zum mindeſten gerechnet, 100,000,000 Sekunden, oder mehr als drei Jahre gebrauchen, um von den nächſten Fixſternen zu uns zu gelangen. Welche Entfernungen müſſen wir nun zugeben für jene zahlloſen Sterne von geringeren

ſcheinbaren Größen, die das Teleſkop uns enthüllt! Wenn wir annehmen, daß das Licht eines Sterns von irgend einer Größe die Hälfte des Lichtes eines Sterns von der nächſt vorhergehenden Größe iſt, ſo ergibt ſich, daß ein Stern erſter Größe in eine 362mal größere Entfernung verſezt werden muß, um wie ein Stern ſechszehnter Größe zu erſcheinen. Hieraus folgt, daß es unter der zahlloſen Menge von Firſternen, die das Teleſkop uns ſichtbar macht, viele geben muß, deren Licht einen Zeitraum von wenigſtens tauſend Jahren gebraucht, um zu uns zu gelangen; und daß mithin, wenn wir dieſelben beobachten und ihre Eigenthümlichkeiten und Veränderungen aufzeichnen, wir in der That nur, auf eine wunderbare Weiſe, den Zuſtand kennen lernen, in welchem ſie ſich vor tauſend Jahren befanden! Wir können dieſe, uns in Erſtaunen ſezende Schlußfolgerung nur durch Aufſtellung der andern Hypotheſe vermeiden, nach welcher wir nämlich annehmen würden, daß das Licht aller kleineren Sterne der Milchſtraße, ſeiner innern Natur nach, wirklich ſchwächer ſey. Wir werden aber die Wahrſcheinlichkeit der einen oder der andern Hypotheſe richtiger zu beurtheilen im Stande ſeyn, wenn wir zuvor noch andere Sternſyſteme kennen gelernt haben, deren Daſeyn uns das Teleſkop enthüllt, und die, nach den Analogieen, welche wir in ihrer Einrichtung und Zuſammenſezung wahrnehmen, uns genügend zeigen werden, daß die erſte der beiden obigen Annahmen mit der Geſammtheit der beobachteten Thatſachen in vollkommenem Einklange ſteht.

591) Wir wollen indeſſen dieſes Feld der Spekulation verlaſſen, und indem wir uns auf die oben angegebene Gränze beſchränken, von der wir gewiß wiſſen, daß die wirklichen Entfernungen der Firſterne ſie noch weit überſchreiten, wollen wir dieſes negative Reſultat anwenden, um zu einer beiläufigen Schätzung der wahren Größe jener Himmelskörper zu gelangen. Hierüber geben uns die Fernröhre keine direkte Belehrung. Die Scheiben, als welche ſich die Firſterne in guten Teleskopen zeigen, ſind nichts Wirkliches, ſondern nur Folge einer optiſchen Täuſchung. Die Lichtſtärke derſelben muß daher unſer

alleiniger Führer bei dieſer Unterſuchung ſeyn. Nun hat Dr. Wollaſton durch direkte photometriſche Verſuche, die keinen Einwürfen unterworfen zu ſeyn ſcheinen,*) gefunden, daß das Licht, welches Sirius uns zuſendet, ſich zu dem Lichte der Sonne verhält, wie 1 zu 20000000000. Damit demnach die Sonne uns nicht heller erſchiene, als Sirius, müßte ſie 141,400mal weiter von uns entfernt ſeyn, als ſie wirklich iſt. Wir haben aber geſehen, daß die Entfernung des Sirius wenigſtens 200,000 mal größer ſeyn muß, als die der Sonne. Hieraus folgt alſo, daß nach dem geringſten Anſchlage, das vom Sirius in der Wirklichkeit ausgehende Licht wenigſtens doppelt ſo ſtark ſeyn muß, als das Licht der Sonne; oder Sirius muß hinſichtlich ſeines wirklichen Glanzes wenigſtens zweien Sonnen gleichkommen, aber aller Wahrſcheinlichkeit nach iſt er noch um vieles größer.*)

592) Zu welchem Zwecke mögen nun wohl dieſe unzähligen prachtvollen Körper in den Tiefen des Weltraumes überall zerſtreut liegen? Sicherlich nicht, um unſere Nächte zu erhellen, was durch einen zweiten Mond, der an Größe nur den tauſendſten Theil von dem ausmachte, den wir wirklich beſitzen, weit vollkommener geſchehen würde; auch nicht, um als ein eiteles Gepränge ohne Sinn und Wahrheit zu ſtrahlen, und uns in leere Vermuthungen zu verwickeln. Nützlich ſind ſie zwar allerdings dem Menſchen, da ſie ihm zu ſichern und bleibenden Vergleichungs-Punkten dienen; aber derjenige müßte die Aſtronomie mit geringem Erfolge ſtudirt haben, der den Menſchen allein als Gegenſtand der Sorge ſeines Schöpfers betrachten, oder der nicht in der großen und bewundernswürdigen Vorrichtung, die uns umgibt, eine Fürſorge für noch andere Arten belebter und beſeelter Weſen erkennen könnte. Die Planeten erhalten, wie

---

*) Siehe Philosophical Transactions 1829, Pag. 24.

**) Dadurch, daß Dr. Wollaſton — wie wir glauben, mit vollem Rechte — die Gränze einer möglichen Parallaxe beim Sirius noch viel kleiner angenommen hat, als wir im Texte gethan haben, iſt er zu dem Schluſſe geführt worden, daß der wirkliche Lichtglanz dieſes Sterns nahezu demjenigen von vierzehn Sonnen gleichkommt.

wir geſehen haben, ihr Licht von der Sonne, aber bei den Fixſternen kann dieſes nicht der Fall ſeyn. Ohne Zweifel ſind ſie daher ſelbſt Sonnen, und vielleicht bildet jeder für ſich einen Centralpunkt, um welchen andere Planeten, oder ſonſtige Körper kreiſen, von denen wir uns, da in unſerm eigenen Sonnenſyſteme keine, ihnen ähnliche vorhanden ſind, auch keine Vorſtellung machen können.

593) Es fehlt indeſſen nicht an Analogieen, die mehr ſind, als bloße Vermuthungen, um uns anzuzeigen, daß die dynamiſchen Geſeze, die in den entfernteſten Gegenden des Fixſternenhimmels gelten, denen entſprechend ſind, nach welchen ſich die Bewegungen in unſerm eigenen Planetenſyſteme richten. Ueberall, wo wir das Geſez der Periodicität, d. h. der regelmäßigen, in denſelben Zeiträumen erfolgenden Wiederkehr der nämlichen Erſcheinungen, wahrnehmen, können wir nicht umhin, die Idee einer Rotationsbewegung, oder der Bewegung in einer Bahn, damit zu verbinden. Es gibt unter den Fixſternen mehrere, welche, obſchon ſie ſich weder durch eine ſcheinbare Veränderung ihres Ortes, noch durch eine Verſchiedenheit ihres Anſehens in den Fernröhren, vor den übrigen auszeichnen, gleichwohl in ihrem Glanze eine regelmäßige, periodiſche Vermehrung und Verminderung erfahren, die in ein paar Fällen vom hellſten Lichte des Sterns ſogar bis zum völligen Verſchwinden deſſelben abwechſelt. Man nennt ſolche Sterne periodiſche oder veränderliche Sterne. Einer der auffallendſten unter ihnen iſt der Stern Omicron im Sternbilde des Wallfiſches, deſſen Veränderlichkeit zuerſt von Fabricius im Jahre 1596 bemerkt wurde. Dieſer Stern erſcheint ungefähr zwölfmal in eilf Jahren, oder genauer, ſeine Periode umfaßt 334 Tage. Er behält ſein hellſtes Licht ungefähr vierzehn Tage lang, wobei er mitunter wie ein Stern zweiter Größe glänzt; alsdann nimmt er etwa drei Monate hindurch ab, bis er gänzlich unſichtbar wird, was er ungefähr fünf Monate lang bleibt, worauf er wieder zum Vorſchein kommt, und während der übrigen drei Monate ſeiner Periode beſtändig an Licht zunimmt. Dieſes iſt im Allgemeinen der Verlauf ſeines

Lichtwechſels. Der Stern erlangt indeſſen nicht immer denſelben Grad von Helligkeit wieder, auch nimmt er nicht immer nach den nämlichen Abſtufungen ab und zu, und Hevel berichtet ſogar,*) daß er während der vier Jahre vom Oktober 1672 bis zum December 1676 gar nicht zum Vorſchein gekommen ſey.

594) Ein anderer ſehr bemerkenswerther periodiſcher Stern iſt derjenige, den man Algol oder β Persei nennt. Er erſcheint gewöhnlich als ein Stern zweiter Größe, und bleibt es 2 Tage und 14 Stunden hindurch, nach deren Verlauf er plözlich anfängt, an Licht abzunehmen, wodurch er ſchon nach ungefähr 3½ Stunden bis auf die vierte Größe herabgekommen iſt. Alsdann fängt er wieder an zuzunehmen, und nach abermals 3½ Stunden erlangt er ſeine gewöhnliche Helligkeit wieder, ſo daß die Periode aller dieſer Lichtveränderungen etwa 2 Tage 20 Stunden 48 Minuten beträgt. Dieſes merkwürdige Geſez führt unmittelbar zu dem Gedanken, daß vielleicht irgend ein dunkeler Körper dieſen Stern umkreiſet, der uns, ſo oft er bei ſeinem Umlaufe zwiſchen uns und dem Stern zu ſtehen kommt, einen beträchtlichen Theil des Lichtes des leztern entzieht. Es iſt dieſes die Anſicht, die auch Goodricke von der Sache aufgefaßt hat, dem wir die Entdeckung dieſes merkwürdigen Lichtwechſels, die er im Jahre 1782 machte,**) verdanken. Seit dieſer Zeit ſind ſtets die nämlichen Erſcheinungen an dem Sterne wahrgenommen worden, obſchon man dieſe Beobachtun-

---

*) Lalande, Aſtronomie Art. 794.

**) Dieſelbe Entdeckung iſt faſt um die nämliche Zeit auch von Palitzch gemacht worden, einem Pächter in Prolitz bei Dresden, ſeinem Stande nach ein Bauer, durch innern Ruf aber ein Aſtronom, der, in Folge ſeiner Vertrautheit mit dem Anſehn des geſtirnten Himmels unter ſo vielen tauſend Sternen dieſen einen, als vor den übrigen durch ſeine Lichtveränderungen ſich auszeichnend, bemerkte und die Periode dieſes Lichtwechſels beſtimmte. Derſelbe Palitzch war es auch, der den auf das Jahr 1759 angekündigten Halley'ſchen Kometen zuerſt wieder auffand, indem er ihn faſt einen Monat früher ſah, als alle andere Aſtronomen, welche, mit ihren Fernröhren bewaffnet, der Wiederkunft des Kometen ängſtlich harrten. — Dieſe Erzählungen führen uns in das Zeitalter der Chaldäiſchen Hirten zurück.

gen mit viel weniger anhaltendem Fleiße fortgeſezt hat, als das hohe Intereſſe derſelben es zu verdienen ſcheint. Mag man jene Erſcheinungen erklären, wie man will, ſo zeigen ſie wenigſtens einen hohen Grad von Thätigkeit in Gegenden an, wo man ohne ſolche Zeugniſſe keine Spuren von Leben finden würde. Unſere eigene Sonne erfordert, um eine Umdrehung um ihre Axe zu vollenden, einen Zeitraum, der neunmal größer iſt, als jene Lichtperiode. Dagegen würde die Umlaufszeit eines ſie umkreiſenden dunkeln Körpers von hinreichender Größe, der, von einem Fixſterne aus geſehen, eine ähnliche temporäre Verdunkelung der Sonne bewirkte, weniger als vierzehn Stunden betragen.

595) Das nachſtehende Verzeichniß enthält Beiſpiele von veränderlichen Sternen mit ſehr verſchiedenen Lichtperioden, in ſo weit leztere gegenwärtig als bekannt angeſehen werden können:

Name des Sterns.	Dauer der Lichtperiode. Tag.	St.	M.	Veränd. der ſcheinb. Größe.	Entdecker.
β Persei	2	20	48	2 bis 4	Goodricke, 1782. Palitzch, 1783.
δ Cephei	5	8	37	3.4 – 5	Goodricke, 1784.
β Lyrae	6	9	0	3 – 4.5	Goodricke, 1784.
η Antinoi	7	4	15	3.4 – 4.5	Pigott, 1784.
α Herculis	60	6	0	3 – 4	Herſchel, 1796.
Serpentis A. R. 15h 41m P. D. 74° 15′	180	—	—	7? – 0	Harding, 1826.
o Ceti	334	—	—	2 – 0	Fabricius, 1596.
χ Cygni	396	21	0	6 – 11	Kirch, 1687.
367 B.*) Hydrae	494	—	—	4 – 10	Maraldi, 1704.
34 Fl. Cygni	18 Jahre			6 – 0	Janſon, 1600.
420 M. Leonis	Viele Jahre			7 – 0	Koch, 1782.
K. Sagittari	Desgleichen			3 – 6	Halley, 1676.
ψ Leonis	Desgleichen			6 – 0	Montanari, 1667.

*) Dieſe Buchſtaben B. Fl. und M. beziehen ſich auf die Sternverzeichniſſe von Bode, Flamſteed und Mayer.

Die Lichtveränderungen dieſer Sterne werden indeſſen, vielleicht ſelbſt in Bezug auf die Dauer ihrer Periode, gewiß aber hinſichtlich ihrer Größe, durch phyſiſche Urſachen modificirt, die uns bis jezt unbekannt ſind. Der gänzlichen Unſichtbarkeit von o Ceti während vier Jahren iſt ſchon erwähnt worden, und dieſem Beiſpiele können wir noch das von χ Cygni hinzufügen, der, nach Caſſini's Verſicherung, während der Jahre 1699, 1700 und 1701, zu den Zeitpunkten, in welchen er am hellſten hätte erſcheinen ſollen, kaum ſichtbar war.

596) Dieſe Unregelmäßigkeiten bereiten uns vor auf eine andere Art von Veränderungen der Fixſterne, in denen man bis jezt noch kein Geſez von Periodicität hat entdecken können, und die wir, aus Mangel hinreichender Erfahrungen und genügender Sachkenntniß, als rein zufällig betrachten müſſen, oder die, wenn ſie wirklich periodiſcher Natur ſind, Perioden von zu langer Dauer haben, als daß ſie ſich ſeit den früheſten Zeiten der Aſtronomie mehr als einmal hätten zutragen können. Die Erſcheinungen, welche wir meinen, ſind diejenigen von temporären Sternen, die ſich von Zeit zu Zeit an verſchiedenen Stellen des Himmels plözlich mit außerordentlichem Glanze gezeigt haben, und, nachdem ſie eine Zeitlang, gleich den übrigen Fixſternen, eine völlig unveränderte Stellung behaupteten, allmählig wieder verſchwunden ſind, ohne irgend eine Spur von ſich zurückzulaſſen. Dahin gehört der Stern, deſſen plözliches Erſcheinen im Jahre 125 v. Chr. G. die Aufmerkſamkeit des Hipparch auf ſich gezogen und ihn bewogen haben ſoll, ein Sternverzeichniß zu entwerfen, das älteſte, welches wir kennen. Ferner der Stern, welcher im Jahre 389 unſerer Zeitrechnung in der Nähe von α Aquilae plözlich hervorbrach und, nachdem er drei Wochen hindurch ſo hell wie Venus geglänzt hatte, wieder gänzlich verſchwand. In den Jahren 945, 1264 und 1572 ſind ebenfalls glänzende Fixſterne in der Gegend des Himmels zwiſchen dem Cepheus und der Caſſiopeia erſchienen; und da wir die Oerter der beiden erſteren, im Vergleich zu dem des lezteren, der gut beſtimmt wurde, nur ſehr unvollkommen kennen, auch die Zwiſchenzeiten ihrer Erſcheinungen ſich

ziemlich nahe gleichkommen, ſo vermuthet man, daß ſie ein und derſelbe Stern ſind, der eine Lichtperiode von etwa 300, oder, wie Goodricke annimmt, von 150 Jahren hat. Die Erſcheinung des Sterns vom Jahre 1572 war ſo plözlich, daß Tycho Brahe, ein berühmter Däniſcher Aſtronom, als er eines Abends (am 11. November) von ſeiner Sternwarte zu ſeiner Wohnung zurückkehrte, ganz erſtaunt war, eine Menge Menſchen zu finden, welche einen Stern betrachteten, von dem er gewiß wußte, daß er eine halbe Stunde zuvor noch nicht exiſtirt hatte. Dieſes war der fragliche Stern. Er ſtrahlte bereits ſo ſtark, wie Sirius, und nahm noch fortwährend zu, ſo daß er in ſeinem größten Glanze den Jupiter übertraf und am hellen Tage ſichtbar war. Noch im Dezember deſſelben Jahres fing er an, wieder abzunehmen, und im März 1574 verſchwand er gänzlich. Eben ſo brach am 10ten Oktober 1604 ein Stern derſelben Art, und nicht minder glänzend, plözlich in dem Sternbilde des Schlangenträgers hervor, der bis zum Oktober 1605 ſichtbar blieb.

597) Aehnliche Erſcheinungen, obgleich weniger auffallend, haben auch in neuerer Zeit ſtattgefunden, wie es z. B. mit dem Stern dritter Größe der Fall war, der im Jahre 1670 von Anthelm im Kopfe des Schwans entdeckt wurde. Dieſer Stern wurde einmal völlig unſichtbar, erſchien dann auf's Neue und nachdem er während zwei Jahren noch einige ſeltſame Lichtveränderungen erfahren hatte, verſchwand er zulezt gänzlich, und iſt ſeitdem nicht mehr zum Vorſchein gekommen. Ueberhaupt findet man bei ſorgfältiger Durchmuſterung des geſtirnten Himmels und Vergleichung deſſelben mit älteren Sternverzeichniſſen, daß viele Sterne jezt nicht mehr vorhanden ſind; und obgleich es keinem Zweifel unterliegt, daß dieſe Lücken gar oft in einem irrigen Eintrag in jene Verzeichniſſe ihren Grund haben mögen, ſo iſt es doch in vielen Fällen eben ſo gewiß, daß kein Irrthum in der frühern Beobachtung oder im Eintrag ſtattgefunden hat, ſondern daß der Stern wirklich beobachtet worden und wirklich vom Himmel verſchwunden iſt. *) Dieſe Nachforſchungen bil-

*) Der Stern 42 Virginis iſt aus Zach's Verzeichniſſe der Zodia-

den einen Zweig der praktiſchen Aſtronomie, der bisher noch wenig cultivirt wurde, der aber gerade ein ſolcher iſt, auf welchen die Liebhaber dieſer Wiſſenſchaft, in Anbetracht, daß dazu nichts weiter erforderlich iſt, als ein gutes Auge oder ein mäßiges Fernrohr, ihre Zeit trefflich verwenden könnten.**) Sicher verſpricht derſelbe eine reiche Ernte an Entdeckungen, allein die Aſtronomen auf eigentlichen Sternwarten ſind vermöge der Natur der Beobachtungen, die ihnen hier obliegen, faſt außer Stande, ſich auch dieſer Art von Nachforſchung in dem erforderlichen Umfange zu unterziehen. Sir William Herſchel hat Verzeichniſſe über die relative Helligkeit der Fixſterne eines jeden Sternbildes angefertigt, in der ausdrücklichen Abſicht, um ſolche Unterſuchungen zu erleichtern, und der Leſer findet ſowohl dieſe, als auch eine vollſtändige Erläuterung ſeiner Vergleichungsmethode, in den Philosophical Transactions für 1796 und die nächſt folgenden Jahre.

598) Wir kommen jezt zu einer Klaſſe von Erſcheinungen ganz anderer Art, die uns eine beſtimmte und wahre Anſicht von der Natur der Fixſterne, oder wenigſtens vieler von ihnen, verſchafft, indem ſie uns auf unzweifelhafte Weiſe zeigt, daß dieſelben den nämlichen dynamiſchen Geſezen unterworfen ſind und der nämlichen Schwerkraft gehorchen, die auch unſer Sonnenſyſtem beherrſcht. Viele Fixſterne ſind, wenn man ſie durch Fernröhre betrachtet, doppelt, d. h. ſie beſtehen aus zwei (in einigen Fällen auch aus drei) einzelnen Sternen, die ganz

Fixſterne in den Sternkatalog der Londoner Aſtronomiſchen Societät eingetragen. Ich vermißte denſelben am 9. Mai 1828, und habe ſeitdem zu wiederholten Malen den Ort des Himmels, wo er ſich befinden muß, in das Geſichtsfeld meines zwanzigfüßigen Reflektors gebracht, ohne jedoch ihn zu bemerken, er müßte denn der eine von zwei gleichen Sternen neunter Größe ſeyn, welche ſehr nahe an der Stelle ſtehen, die dem Verzeichniſſe zufolge ihm zukommt. — Der Verfaſſer.

**) „Ces variations des étoiles sont bien dignes de l'attention des observateurs curieux.... Un jour viendra, peut-être, où les sciences auront assez d'amateurs pour qu'on puisse suffire à ces détails." (Lalande, Astron. Art. 824.) — Gewiß, dieſer Tag iſt jezt gekommen!

nahe neben einander ſtehen. Man könnte dieſen Umſtand dem Zufalle zuſchreiben, wenn es nur einige wenige Fälle dieſer Art gäbe; aber das häufige Vorkommen einer ſolchen Vereinigung zweier Sterne, ihre außerordentlich kleine Entfernung von einander, und in vielen Fällen auch die nahe Gleichheit der beiden ſo verbundenen Individuen, laſſen allein ſchon uns ſtark vermuthen, daß bei ihnen ein viel näheres und innigeres Verhältniß zu einander ſtattfindet, als ein blos zufälliges Nebeneinanderſtehen. Man findet z. B., daß der helle Stern Caſtor, wenn man ihn mit einem ſtark vergrößernden Fernrohre betrachtet, aus zwei Sternen beſteht, die von der dritten bis vierten Größe ſind, und kaum fünf Sekunden von einander abſtehen. Sterne von dieſer Größe gibt es aber am Himmel nicht ſo viele, um es nur im Geringſten wahrſcheinlich zu machen, daß, wenn ſie ihren Ort im Weltraume lediglich dem Zufalle verdanken, zwei von ihnen ſo nahe zuſammenfallen könnten. Und dieſes iſt nur eines von einer großen Menge ſolcher Beiſpiele. Sir William Herſchel hat über 500 Doppelſterne gezählt, bei denen die beiden Sterne, aus welchen ſie beſtehen, weniger als eine halbe Minute von einander entfernt ſind; und dieſes Verzeichniß hat in neuerer Zeit Profeſſor Struve in Dorpat, der dieſe Unterſuchung mit Inſtrumenten verfolgte, welche eine hiezu beſonders geeignete Aufſtellung beſitzen, beinahe um das Fünffache vergrößert. Andere Beobachter haben das ſchon ſo ſehr angewachſene Verzeichniß ſolcher Sterne noch weiter vermehrt, ohne dadurch den Reichthum des Himmels in dieſer Beziehung völlig zu erſchöpfen. Unter dieſen Doppelſternen gibt es ſehr viele, bei denen der Abſtand der Mittelpunkte der beiden einzelnen Sterne, aus welchen ſie zuſammengeſezt ſind, weniger als eine Sekunde beträgt. Als Beiſpiele hiervon mögen ε Arietis, Atlas in den Plejaden, γ Coronae, η Coronae, η und ζ Herculis, τ und λ Ophiuchi genannt werden. Man hat die Doppelſterne nach den Abſtänden der beiden einzelnen Sterne, aus denen ſie beſtehen, in Klaſſen eingetheilt, ſo daß in die erſte Klaſſe diejenigen gehören, bei denen dieſe Abſtände am kleinſten ſind.

599) Gleich bei der erſten Auffindung von Doppelſternen verfiel man auf den Gedanken, daß ſie insbeſondere dazu dienen könnten, um zu beſtimmen, ob die jährliche Bewegung der Erde um die Sonne in der ſcheinbaren relativen Stellung der beiden Individuen, welche einen Doppelſtern bilden, eine Veränderung hervorbringe, oder nicht. Nimmt man nämlich an, daß der eine der beiden Sterne ſich in großer Entfernung hinter dem andern befindet, und daß ſie nur durch zufälliges nahes Zuſammentreffen auf einer und derſelben Geſichtslinie uns nebeneinanderſtehend erſcheinen, ſo iſt einleuchtend, daß jeder Fortſchritt der Erde in ihrer Bahn, von den beiden auf ſolche Art neben einander ſtehenden Sternen aus geſehen, ſich unter verſchiedenen Winkeln zeigen muß, oder mit andern Worten, daß beide Sterne dadurch eine verſchiedene parallactiſche Verrückung an der, als unendlich entfernt betrachteten Oberfläche der Himmelskugel erfahren müſſen. In Folge der jährlichen Bewegung der Erde um die Sonne muß eigentlich jeder Fixſtern ſcheinbar am Himmel eine kleine Ellipſe beſchreiben (verſchieden von derjenigen, die er vermöge der Aberration des Lichts beſchreibt, und nicht mit dieſer zu verwechſeln,) welche gebildet wird durch den Durchſchnitt der concaven Oberfläche der Himmelskugel und eines ſchiefen elliptiſchen Kegels, der den Fixſtern zum Scheitel, und die Erdbahn zur Baſis hat; und dieſer Durchſchnitt wird von um ſo kleineren Dimenſionen ſeyn, je entfernter der Stern iſt. Wenn wir alſo zwei Sterne betrachten, die ſcheinbar nahe neben einander ſtehen, in der Wirklichkeit hingegen ſehr verſchiedene Entfernungen von uns haben, ſo werden die parallactiſchen Ellipſen, welche ſie beſchreiben, einander ähnlich, aber von verſchiedenen Dimenſionen ſeyn. Nehmen wir z. B. an, S und s (Fig. 72) ſeyen die von der Sonne aus geſehenen Oerter der beiden Sterne, welche einen ſolchen ſcheinbaren oder ſogenannten optiſchen Doppelſtern bilden, und A B C D, a b c d die von ihnen beſchriebenen parallactiſchen Ellipſen, ſo wird, da ſie jederzeit eine ähnliche Lage in dieſen Ellipſen haben, der eine Stern in A geſehen werden, wenn der andere in a erſcheint. Hat die Erde den vierten Theil ihrer Bahn

um die Sonne zurückgelegt, ſo werden die ſcheinbaren Oerter der beiden Sterne B und b, nach Vollendung des zweiten Viertheils C und c, und nach dem dritten D und d ſeyn. Wenn wir daher mit Mikrometern, welche für dieſen Zweck geeignet ſind, zu verſchiedenen Jahreszeiten die ſcheinbare gegenſeitige Stellung der beiden Sterne ſorgfältig meſſen, ſo müßten wir eine periodiſche Veränderung wahrnehmen, ſowohl in der Richtung der Linie welche die beiden Sterne verbindet, als auch in ihrer Entfernung von einander. Denn offenbar ſind die Linien A a und C c den Linien B b und D d nicht parallel, was ſie nur dann ſeyn können, wenn die Ellipſen von gleichen Dimenſionen ſind, d. h. wenn die beiden Sterne dieſelbe Parallaxe haben, oder gleichweit von der Erde abſtehen.

600) Wir ſind nun mit Hülfe von Mikrometern, welche eine hierzu geeignete Einrichtung beſizen, im Stande, nicht nur den Winkelabſtand zweier Objekte, die zu gleicher Zeit in dem Geſichtsfelde eines Fernrohrs geſehen werden können, ſehr genau zu meſſen, ſondern auch die Lage der Linie, welche ſie mit einander verbindet, gegen den Horizont, oder den Meridian, oder gegen irgend einen andern größten Kreis der Himmelskugel anzugeben. Man wählt hierzu gewöhnlich den Meridian als den paſſendſten, und um in Bezug auf ihn die Lage der Verbindungslinie der beiden Sterne, welche einen Doppelſtern bilden, zu beſtimmen, bringt man in dem Brennpunkte des Oculars des Fernrohrs, das wie ein Aequatorialinſtrument aufgeſtellt wird, zwei Fäden an, die ſich unter einem rechten Winkel kreuzen, und ſo geſtellt werden, daß der eine der beiden Sterne in Folge der täglichen Bewegung des Himmels auf dem einen Faden, ſeiner ganzen Länge nach, fortläuft, während das Fernrohr unberührt bleibt. Dieſe Stellung der Fäden wird notirt; hierauf dreht man mittelſt einer mechaniſchen Vorrichtung das ganze Fädenſyſtem in ſeiner eigenen Ebene ſo weit herum, bis der andere Faden der Verbindungslinie der beiden Sterne genau parallel ſteht, und lieſt ſodann an einem, zu dieſem Zweck an jener Vorrichtung angebrachten, eingetheilten Kreiſe den Winkel ab, den die Fäden

durch ihre Drehung beſchrieben haben. Ein ſolcher Apparat wird ein Poſitionsmikrometer genannt, und mit Hülfe deſſelben beſtimmen wir den Poſitionswinkel eines Doppelſterns, d. h. den Winkel, den die Verbindungslinie der beiden einzelnen Sterne mit dem Meridiane bildet. Dieſer Winkel wird durch den ganzen Umfang des Kreiſes, von 0⁰ bis 360⁰, und zwar von der Richtung nach Norden an, durch Oſten, Süden, Weſten bis wieder nach Norden, fortgezählt.

601) Die Vortheile, welche dieſe Meſſungsmethode für die Erforſchung der Parallaxe darbietet, ſind vielfach und groß. Das Reſultat, das man erhält, iſt zuvörderſt, da es von nichts Anderm, als von der gegenſeitigen ſcheinbaren Verrückung der beiden Sterne abhängt, frei von jeder Fehlerquelle, die bei der iſolirten Beſtimmung der Oerter derſelben mittelſt Rectaſcenſion und Deklination einen Irrthum erzeugen könnte. Die Strahlenbrechung, dieſes größte von allen Hinderniſſen, die ſich der völligen Genauigkeit der aſtronomiſchen Ortsbeſtimmungen entgegenſtellen, wirkt auf beide Sterne gleich ſtark, und hat folglich auf ihre gegenſeitige Lage keinen Einfluß. Eben ſo wenig haben wir etwas von Fehlern in der Theilung der Kreiſe, von Waſſerwaagen oder Pendeln zu befürchten, noch von der etwanigen Unſicherheit, welche die uranographiſchen Reductionen der Aberration, Präceſſion u. ſ. w. mit ſich führen, indem alles dieſes auf die Oerter der beiden Sterne gleichmäßig einwirkt. Mit einem Worte, wenn wir vorausſezen, daß die beiden Sterne keine ſolchen eigenen Bewegungen beſizen, die eine wirkliche Veränderung in der gegenſeitigen Lage derſelben hervorbringen, ſo können Verrückungen, welche man durch Beobachtungen, die auf ſolche Art angeſtellt werden, an ihnen wahrnimmt, von nichts Anderem herrühren, als von einer Differenz ihrer Parallaxen.

602) Dieſes waren die Betrachtungen, welche zuerſt Sir William Herſchel bewogen, eine Liſte von Doppelſternen zu bilden, und ſie ſämmtlich in Bezug auf ihre Poſitionswinkel und Abſtände einer ſorgfältigen Meſſung zu unterwerfen. Er hatte indeſſen kaum dieſe Meſſungen begonnen, als er von dem urſprünglichen Gegen-

ſtande ſeiner Unterſuchung (der in der That, ſo manches er auch verſpricht, ſeitdem kaum wieder aufgenommen worden iſt, obgleich nur durch dieſe Beobachtungsmethode eine Ausſicht auf Erfolg bei der Erforſchung der Fixſternparallaxe dargeboten zu werden ſcheint) durch Erſcheinungen von ganz unerwarteter Art abgelenkt wurde, die ſeine volle Aufmerkſamkeit in Anſpruch nahmen. Anſtatt nämlich, wie er erwartete, bei dieſen Doppelſternen, in Folge des Unterſchiedes der durch die jährliche Bewegung der Erde hervorgebrachten Parallaxen derſelben, jenes jährliche Hin- und Herſchwanken des einen der beiden Sterne in Bezug auf den andern, jene abwechſelnde jährliche Vergrößerung und Verkleinerung ihres Abſtandes von einander und ihres Poſitionswinkels zu finden, bemerkte er vielmehr in den meiſten Fällen eine regelmäßig fortſchreitende Veränderung, bei einigen Doppelſternen hauptſächlich in dem Abſtande der beiden Sterne, bei anderen in dem Poſitionswinkel derſelben, und zwar hier beſtändig nach einerlei Richtung gehend: ſo daß hieraus aufs klarſte entweder eine wirkliche Bewegung der Sterne ſelbſt, oder ein allgemeines, geradeliniges Fortſchreiten der Sonne und des ganzen Sonnenſyſtemes hervorging, indem lezteres eine Parallaxe von einer höheren Ordnung, als diejenige, die von der jährlichen Bewegung der Erde um die Sonne herrührt, hervorbringen würde, welche man die ſyſtematiſche Parallaxe nennen könnte.

603) Nimmt man an, daß die zwei Sterne ſich unabhängig von einander bewegen, und eben ſo auch die Sonne, ſo iſt einleuchtend, daß für einen Zeitraum von wenigen Jahren dieſe Bewegungen als geradelinig und gleichförmig betrachtet werden müſſen. Hiernach wird es nur einer geringen Kenntniß der Geometrie bedürfen, um ſich zu überzeugen, daß die ſcheinbare Bewegung des einen der beiden Sterne, wenn man ſie auf den andern, als einen feſten Punkt, bezieht und auf eine Ebene projicirt, in welcher man dieſen andern Stern zum Anfangs- oder Nullpunkt annimmt, nicht anders als geradelinig ſeyn kann. Dieſes muß, wie geſagt, der Fall ſeyn, wenn die zwei Sterne unabhängig von einander

ſind. Anders aber wird ſich die Sache verhalten, wenn unter ihnen ein phyſiſcher Zuſammenhang ſtattfindet, wie z. B. in Folge einer wirklichen großen Nähe und gegenſeitigen Schwerkraft. In dieſem Falle würden ſie um einander und um ihren gemeinſchaftlichen Schwerpunkt Bahnen beſchreiben, und es würde folglich die ſcheinbare Bahn des einen von ihnen, auf den andern als feſten Punkt bezogen, anſtatt ein Theil einer geraden Linie zu ſeyn, in eine Curve abgelenkt werden, die gegen den leztern hin concav iſt. Die beobachteten Bewegungen waren indeſſen ſo langſam, daß es einer Reihe von Jahren bedurfte, um hierüber entſcheiden zu können; und ſo geſchah es, daß man erſt im Jahre 1803, fünf und zwanzig Jahre nach dem Anfang der Unterſuchung, zu einigen poſitiven Reſultaten in Bezug auf die geradlinige oder kreisbahnähnliche Form der beobachteten Ortsveränderungen gelangen konnte.

604) In dem genannten und dem nächſtfolgenden Jahre machte Sir William Herſchel in zwei Abhandlungen, die man in den Philoſophiſchen Verhandlungen der Londoner Königlichen Societät von jenen beiden Jahren nachſchlagen kann, die beſtimmte Anzeige, daß es Sternſyſteme gibt, die aus zwei Sternen beſtehen, welche ſich in regelmäßigen Bahnen um einander bewegen. Zum Unterſchied mit den ſogenannten Doppelſternen im Allgemeinen, wollen wir dieſe, durch ein phyſiſches Band mit einander verbundenen Sterne zweifache Sterne nennen, da unter jenen ſich auch ſolche befinden können, die nur optiſch doppelt ſind, d. h. die bei ſehr verſchiedenen Entfernungen von uns nur zufällig am Himmel neben einander ſtehen, während die beiden Individuen, welche einen zweifachen Stern bilden, gleiche Entfernungen von uns, oder wenigſtens ſolche haben, deren Unterſchied nicht größer, als der Halbmeſſer der Bahn, die ſie um einander beſchreiben, ſeyn kann, was aber ganz unbedeutend iſt im Vergleich zu ihrer beiderſeitigen unermeßlichen Entfernung von der Erde. Die oben erwähnten Abhandlungen enthalten fünfzig bis ſechzig Beiſpiele von zum Theil größeren, zum Theil geringeren Veränderungen der Poſitionswinkel der Dop-

pelſterne, von denen viele zu entſchieden und zu regel⸗mäßig fortſchreitend ſind, als daß man über ihre wahre Natur im Geringſten noch im Zweifel ſeyn könnte. Insbeſondere ſind unter denjenigen Doppelſternen, bei denen die beobachtete gegenſeitige Bewegung der beiden Individuen, aus welchen ſie beſtehen, am auffallendſten iſt, die folgenden helleren Sterne aufgeführt: Castor, γ Virginis, ξ Ursae, 70 Ophiuchi, σ und η Coronae, ξ Bootis, η Cassiopeiae, γ Leonis, ζ Herculis, δ Cygni, μ Bootis, ε4 und ε5 Lyrae, λ Ophiuchi, μ Draconis und ζ Aquarii. Für einige von dieſen ſind ſogar ſchon die Umlaufszeiten angegeben, die allerdings nur approximativ ſind, und eher als muthmaßliche, denn als Reſultate einer genauen Berechnung angeſehen werden müſſen, für welche lezteren die Data zu jener Zeit noch ganz ungenügend waren. Die Umlaufszeit des Caſtor iſt z. B. auf 334 Jahre feſtgeſezt, die von γ Virginis, auf 708, und die von γ Leonis auf 1200 Jahre.

605) Spätere Beobachtungen haben dieſe Reſultate, nicht allein im Allgemeinen, ſondern größtentheils auch im Einzelnen, vollkommen beſtättigt. Unter allen vorhin genannten Sternen iſt nicht ein einziger, der nicht mit völliger Sicherheit als ein zweifacher Stern angeſehen werden könnte; und in der That, dieſes Verzeichniß enthält faſt alle beträchtlicheren, bis jezt entdeckten Sterne dieſer Art, obwohl es durch die vermehrte Aufmerkſamkeit, die in der neueſten Zeit dieſem Gegenſtande gewidmet worden iſt, und durch vervielfältigte Theilnahme an ſolchen Beobachtungen, bereits angefangen hat, ſich raſch zu vergrößern. Die Zahl der Doppelſterne, von denen wir gewiß wiſſen, daß ſie zu den zweifachen gehören, beträgt gegenwärtig dreißig bis vierzig, und ſie vermehrt ſich mit jeder neuen Reihe von Beobachtungen, die zu dieſem Behuf angeſtellt werden. Die Beobachtung dieſer Sterne verlangt ſehr ausgezeichnete Fernröhre, indem die beiden einzelnen Sterne, aus denen ſie zuſammengeſezt ſind, meiſtentheils ſo dicht neben einander ſtehen, daß man, um einen Zwiſchenraum zwiſchen ihnen zu erkennen, ſehr ſtark vergrößernder Ocularlinſen bedarf, denen ähnlich, die ſchon für ſehr kraftvolle Mikros⸗

kope gelten würden, wenn wir ſie anwendeten, um Gegenſtände in unſerer Nähe zu unterſuchen.

606) Es war leicht vorauszuſehen, daß man es nicht unverſucht laſſen würde, auf Erſcheinungen dieſer Art die Lehren der Dynamik anzuwenden. Seit der erſten Entdeckung derſelben ſchrieb man ſie ſogleich ſehr natürlich der Wirkung einer Gravitationskraft zu, mittelſt welcher die beiden einzelnen Sterne mit einander in Verbindung ſtehen, und in deren Folge nothwendig der eine den andern umkreiſen muß. Die Ausdehnung des Newton'ſchen Geſezes der Schwere auf dieſe entlegenen Sternſyſteme war ein ſo natürlicher, und durch unſere Erfahrungen über deſſen allſeitige Bewährtheit in unſerm eigenen Sonnenſyſteme ſo ſehr gerechtfertigter Schritt, daß derſelbe von einem Jeden, der ſich mit dieſem Gegenſtande beſchäftigte, ausdrücklich oder ſtillſchweigend gemacht wurde. Wir verdanken inzwiſchen die erſte beſtimmte Rechnungsmethode, durch welche man die elliptiſchen Elemente der Bahn eines ſolchen Doppelſterns aus den zu verſchiedenen Epochen angeſtellten Beobachtungen ſeines Poſitionswinkels und des Abſtandes der beiden Sterne herleiten kann, dem Herrn Savary, welcher zeigte,*) daß die Bewegungen eines der merkwürdigſten unter ihnen (ξ Ursae) ſich innerhalb der Gränzen der möglichen Beobachtungsfehler erklären laſſen, wenn man eine elliptiſche Bahn annimmt, die dieſer Stern in dem kurzen Zeitraume von 58¼ Jahren durchläuft. Durch ein anderes Rechnungsverfahren iſt Prof. Encke**) auf eine elliptiſche Bahn für 70 Ophiuchi geführt worden, welche von dieſem Sterne in dem Zeitraum von 74 Jahren zurückgelegt wird; und der Verfaſſer dieſes Werkes hat ſelbſt es verſucht, zu dieſen intereſſanten Unterſuchungen ſein Scherflein beizutragen. Die nachſtehenden Reſultate können als die hauptſächlichſten betrachtet werden, die man ſeither in dieſem Zweige der Aſtronomie erhalten hat:

---

*) Connaissance des temps pour 1830.

**) Berliner Jahrbuch für 1832.

Namen der Sterne.	Umlaufszeit.	Halbe große Axe der Ellipſe.	Excentricität.
	Jahre.		
γ Leonis	1200	——	——
γ Virginis	628,9000	12,″090	0,83350
61 Cygni	452 ——	15,430	——
σ Coronae	286,6000	3,679	0,61125
Castor	252,6600	8,086	0,75820
70 Ophiuchi	80,3400	4,392	0,46670
ξ Ursae	58,2625	3,857	0,4164
ζ Cancri	55?	——	——
η Coronae	43,40	——	——

607) Von dieſen Doppelſternen iſt vielleicht γ Virginis der merkwürdigſte, nicht allein wegen der Größe ſeiner Umlaufszeit, ſondern auch, weil der ſcheinbare Abſtand der beiden Sterne, aus denen er zuſammengeſezt iſt, ſich bedeutend vermindert, während ihre Winkelbewegung um einander raſch zunimmt. Er iſt ein heller Stern von der vierten Größe, und die beiden ihn bildenden Sterne ſind einander faſt genau gleich. Daß derſelbe aus zwei Sternen beſteht, wußte man ſchon ſeit dem Anfang des achtzehnten Jahrhunderts, um welche Zeit ihr Abſtand ſechs bis ſieben Sekunden betrug, ſo daß jedes nur einigermaßen gute Fernrohr den Stern als doppelt zeigte. Seit dieſer Zeit haben ſich die beiden einzelnen Sterne beſtändig einander genähert, und gegenwärtig beträgt ihr Abſtand kaum noch mehr, als eine einzige Sekunde, ſo daß kein Fernrohr, welches nicht zu den ganz vorzüglichen gehört, im Stande iſt, ſie anders zu zeigen, als einen einzelnen Stern, der nach einer Richtung hin etwas verlängert iſt. Glücklicherweiſe hat Bradley im Jahre 7118 am Rande eines ſeiner Beobachtungsregiſter die ſcheinbare Richtung der Verbindungslinie der beiden Sterne aufgezeichnet, die damals, in ſo weit er ſolches mit freiem Auge beurtheilen konnte, der Richtung zweier bedeutendern Sterne, α und δ deſſelben Sternbildes, parallel war; und dieſe Note, die neuerlich durch die Sorgfalt des Profeſſors Rigaud der Vergeſſenheit entzogen

iſt, hat bei der Beſtimmung der Bahn dieſes Doppelſterns einen weſentlichen Dienſt geleiſtet. Auch in dem Sternkatalog von Mayer ſind beide Sterne einzeln verzeichnet, was ein weiteres Mittel an die Hand gibt, die relative Lage derſelben für die Zeit der Beobachtungen dieſes Aſtronomen, die um das Jahr 1756 angeſtellt wurden, kennen zu lernen. Ohne hier die einzelnen Meſſungen dieſes Sterns, die man in ihren betreffenden Beobachtungsjournalen finden kann,*) beſonders anzuführen, wird es genügen, zu bemerken, daß die ganze Reihe derſelben (die ſeit dem Anfang des gegenwärtigen Jahrhunderts ſehr zahlreich geworden und mit großer Sorgfalt angeſtellt ſind, und welche eine Winkelbewegung von 100⁰ und eine Verminderung des Abſtandes der beiden Sterne bis auf ein Sechstel ſeiner früheren Größe umfaſſen) mit einem Grade von Genauigkeit, der demjenigen der Beobachtungen ſelbſt völlig gleich iſt, durch eine Ellipſe dargeſtellt wird, deren Dimenſionen und Umlaufszeit die vorſtehende kleine Tafel enthält, und deren übrige Elemente die folgenden ſind:

Durchgang durch das Perihelium .	1834. Auguſt 18
Neigung der Bahn gegen die Geſichtslinie .	22^0 58′
Poſitionswinkel des Periheliums, projicirt auf die Himmelskugel, ...	36^0 24′
Poſitionswinkel der Knotenlinie, oder Durchſchnitt der Ebene der Bahn mit der Oberfläche der Himmelskugel, ...	97^0 23′

608) Wenn die lange Dauer der Umlaufszeiten bei einigen von dieſen Himmelskörpern merkwürdig iſt, ſo iſt die Kürze derſelben bei anderen nicht minder auffallend. η Coronae hat bereits, ſeitdem Sir William Herſchel ihn zuerſt als Doppelſtern erkannte, einen ganzen Umlauf vollendet, und iſt in ſeiner zweiten Periode ſchon weit vorgerückt. Eben ſo haben ξ Ursae, ζ Cancri und 70 Ophiuchi ſeit jener Epoche ſchon bei weitem den größern Theil ihrer reſpectiven Ellipſen zurückgelegt. Wenn daher über die Wirklichkeit ihrer Bewegungen in einer Bahn, und über die Unmöglichkeit, ſie durch

*) Geſammelt ſind dieſelben in den Memoiren der Londoner Königl. Aſtronomiſchen Societät, Bd. V. S. 35.

bloße parallactiſche Veränderungen zu erklären, irgend noch Zweifel übrig bleiben könnten, ſo müßten dieſe Thatſachen genügen, um ſie gänzlich zu entfernen. Wir haben in der That von ihren Umläufen um einander dieſelben Beweiſe, wie wir ſie von den Umläufen des Uranus und Saturn um die Sonne beſitzen; und die Uebereinſtimmung der berechneten und beobachteten Oerter derſelben in ſolchen langen Ellipſen muß uns von der Herrſchaft und Wirkſamkeit des Newton'ſchen Geſezes der Schwere in dieſen Sternſyſtemen eben ſo ſehr uberzeugen, wie die Uebereinſtimmung der berechneten und beobachteten Oerter der Kometen in ihren Bahnen um die Sonne uns von der allſeitigen Herrſchaft dieſes Geſezes in unſerem eigenen Sonnenſyſteme überzeugt.

609) Aber es handelt ſich hier nicht von Umläufen planeten- oder kometenartiger Körper um eine Centralſonne, ſondern von denen einer Sonne um eine andere Sonne, jede vielleicht in ihrem Laufe von Planeten, und dieſe wieder von Satelliten umkreiſet, die durch ihre verhältnißmäßige Kleinheit und den Glanz der Sonne, welcher ſie angehören, unſeren Blicken gänzlich entzogen und auf einen Raum beſchränkt ſind, der zu der enormen Entfernung des einen Centralkörpers von dem andern wohl kaum in einem größern Verhältniſſe ſteht, als die Abſtände unſerer Satelliten von ihren Hauptplaneten zu der Entfernung der lezteren von der Sonne. Ein untergeordnetes Verhältniß von ſolchen Planeten, das in weniger enge Gränzen eingeſchloſſen wäre, würde mit der Stabilität ihrer Syſteme und mit der planetariſchen Beſchaffenheit ihrer Bahnen unvereinbar ſeyn. Wären ſie nicht gleichſam unter dem ſchirmenden Flügel ihrer unmittelbaren Hauptſonne eng zuſammengeniſtet, ſo könnten ſie durch den Umſchwung ihrer andern Sonne, bei dem Durchgange derſelben durch ihr eigenes Perihelium, fortgeriſſen oder in Bahnen abgelenkt werden, welche mit den, für die Exiſtenz ihrer Bewohner nothwendigen Bedingungen durchaus unerträglich ſeyn möchten. Man muß geſtehen, daß ſich hier ein neues und ſehr weites Feld für Speculationen öffnet, denen man ſich leicht nur zu viel hingeben könnte.

610) Viele Doppelſterne zeigen uns die merkwürdige und ſchöne Erſcheinung von kontraſtirenden, oder einander ergänzenden Farben. *) In ſolchen Fällen hat der größere Stern gewöhnlich eine röthliche oder orangegelbe Farbe, während der kleinere grünlich oder bläulich erſcheint, wahrſcheinlich in Folge jenes allgemeinen Geſezes der Optik, vermöge deſſen, ſo lange die Nezhaut durch irgend ein helles, farbiges Licht gereizt wird, ein ſchwächeres Licht, das, für ſich allein geſehen, nur den Eindruck von Weiße hervorbringen würde, in einer Farbe erſcheint, welche die Ergänzungsfarbe zu der des hellern Lichtes iſt. Wenn hiernach in dem Lichte des hellern Sterns die gelbe Farbe vorherrſchend iſt, ſo wird das Licht eines ſchwächern Sterns, der ſich in demſelben Geſichtsfelde befindet, blau erſcheinen; und wenn die Farbe des hellern Sterns zum Carmeſin hinneigt, ſo wird die des ſchwächern einen grünlichen Anſtrich haben, oder unter günſtigen Umſtänden ſogar als ein lebhaftes Grün erſcheinen. Den erſtern Kontraſt bietet auf ſehr ſchöne Weiſe der Stern ι Cancri dar, den leztern γ Andromedae; beide ſind ſchöne Doppelſterne. Wenn dagegen der farbige Stern weit lichtſchwächer iſt, als der andere, ſo wird er das Licht des leztern nicht weſentlich modificiren. So haben wir z. B. in η Cassiopeiae die ſchöne Verbindung eines großen, weißen Sterns mit einem kleinen von hochrother Purpurfarbe. Es ſoll indeſſen keineswegs geſagt ſeyn, daß in allen ſolchen Fällen eine der Farben blos eine Wirkung des Kontraſts iſt; und es möchte ſchwer ſeyn, ſich vorzuſtellen, welche Mannigfaltigkeit der Beleuchtung zwei Sonnen, eine rothe und eine grüne, oder eine gelbe und eine blaue, einem Planeten ertheilen, der beide umkreiſet; und welche herrlichen Kontraſte, z. B. ein rother und ein grüner Tag,

*) „ — Other suns, perhaps,
With their attendant moons thou wilt descry,
Communicating male and female light,
(Which two great sexes animate the world,)
Stored in each orb, perhaps, with some that live.“
Paradise Lost, VIII. 148.

wechſelnd mit einem weißen und mit einer dunkeln Nacht, daraus entſtehen können, wenn die eine oder die andere Sonne, oder beide zugleich, ſich über oder unter dem Horizonte befinden. In einigen Gegenden des Himmels trifft man iſolirte Sterne von rother, und manchmal von faſt blutrother Farbe an, aber nirgends hat man, ſo viel uns bekannt iſt, einen entſchieden grünen oder blauen Stern bemerkt, der nicht von einem andern, weit glänzendern Sterne begleitet wäre.

611) Ein anderer hochwichtiger Gegenſtand in der Phyſik der Fixſterne iſt die eigene Bewegung derſelben. Schon a priori konnte man erwarten, daß ſcheinbare Bewegungen dieſer oder jener Art entdeckt werden würden bei einer ſo großen Anzahl von Körpern, die überall im Weltraume zerſtreut ſind und durch nichts feſtgehalten werden. Schon ihre wechſelſeitigen Anziehungen, die zwar durch die Entfernung über alle Maaßen geſchwächt werden und zum Theil auch einander wieder aufheben, müſſen gleichwohl im unendlichen Laufe der Zeit wenigſtens einige Bewegungen, einige Veränderungen in der gegenſeitigen Stellung dieſer Körper hervorbringen. Wirklich hat man auch gefunden, daß ſolche ſcheinbaren Bewegungen ſtattfinden, nicht blos bei einfachen Fixſternen, ſondern auch bei vielen Doppelſternen, die, abgeſehen davon, daß ſie ſich um einander, oder um ihren gemeinſchaftlichen Schwerpunkt drehen, auch noch eine fortſchreitende Bewegung beſizen, vermöge welcher beide Sterne, ohne ſich von einander zu trennen, nach einer beſtimmten Richtung am Himmel fortrücken. Die beiden Sterne z. B., welche den Stern 61 Cygni bilden und nahe gleiche Größe haben, ſind, wenigſtens ſeit den lezten fünfzig Jahren, in demſelben, oder äußerſt nahe demſelben, Abſtande von 15 Sekunden von einander geblieben. Nichtsdeſtoweniger haben ſie während dieſer Zeit ihren Ort am Himmel um nicht weniger als 4′ 23″ verändert, indem die jährliche eigene Bewegung eines jeden von ihnen 5,″3, oder noch etwas mehr beträgt, als der dritte Theil ihres Abſtandes von einander. Um dieſe Quantität wird dieſes Sternſyſtem jedes Jahr längs einer unbekannten Bahn fortgeführt, mit einer Bewegung, die für viele

Jahrhunderte als gleichförmig und geradlinig zu betrachten iſt. Unter den Fixſternen, die nicht doppelt ſind, und ſich vor den übrigen auf keine Weiſe durch irgend eine anderweitige, bemerkbare Eigenthümlichkeit auszeichnen, muß μ Cassiopeiae als derjenige angeführt werden, der von allen bis jezt erkannten eigenen Bewegungen die ſtärkſte beſizt, indem ſie ſich jährlich auf 3″,74 beläuft. Noch bei ſehr vielen anderen Fixſternen hat man gefunden, daß ſie gleichfalls mit zwar kleineren, aber nichts weniger als zweifelhaften, eigenen Bewegungen beſtändig am Himmel fortrücken.

612) Bewegungen, welche erſt vieler Jahrhunderte bedürfen, um ſich ſo anzuhäufen, daß ſie eine, dem bloßen Auge bemerkbare Veränderung in der gegenſeitigen Stellung der Fixſterne herbeiführen, reichen zwar völlig hin, um jede Idee von abſoluter Feſtigkeit, in ſtrengem mathematiſchen Sinne genommen, zu entfernen, doch aber ſind ſie, ſo weit unſere praktiſchen Anwendungen gehen, viel zu geringfügig, als daß wir veranlaßt werden könnten, aus Rückſicht auf ſie eine andere Benennung für die Fixſterne einzuführen, und, wenn wir im Allgemeinen von ihnen reden, ſie anders als feſt oder unbeweglich zu betrachten. Es iſt uns von der Größe und den Richtungen dieſer Bewegungen noch zu wenig bekannt, als daß wir irgend einen Verſuch wagen könnten, ſie auf beſtimmte Geſeze zurückzuführen. Man kann inzwiſchen im Allgemeinen behaupten, daß die ſcheinbaren Richtungen derſelben verſchieden ſind, und daß ſie keine vorherrſchende gemeinſchaftliche Tendenz nach dem einen, oder dem andern Punkte des Himmels zu haben ſcheinen. Es wurde zwar von Sir William Herſchel angenommen, daß ſich eine ſolche gemeinſchaftliche Tendenz kund gäbe, und daß, abgeſehen von einigen individuellen Abweichungen, im Allgemeinen bei den Hauptſternen eine Bewegung wahrgenommen werden könne, welche ſie von dem Punkte des Himmels, wo der Stern ζ Herculis ſteht, gegen einen Punkt hin führe, der jenem diametral gegenüberliegt. Dieſe allgemeine Tendenz wurde von ihm einer, nach der entgegengeſezten Richtung vor ſich gehenden Bewegung der Sonne und des ganzen Sonnenſyſtemes zuge-

ſchrieben. Gewiß wird Niemand, der die Sache reiflich überlegt, geneigt ſeyn, die hohe Wahrſcheinlichkeit, ja ſelbſt Gewißheit, in Abrede zu ſtellen, daß die Sonne eine eigene Bewegung nach irgend einer Richtung beſizt; und die nothwendige Folge einer ſolchen Bewegung, an der die übrigen Fixſterne nicht Theil nehmen, muß ſeyn, daß dieſe ſämmtlich eine allgemeine, ſcheinbare Tendenz erhalten, langſam gegen den verſchwindenden Punkt von Linien, die mit jener Richtung parallel laufen, und zwar nach der Gegend hin fortzurücken, welche die Sonne verläßt. Dieſes muß nach den Geſezen der Perſpective ſtattfinden, und wir würden demnach unſtreitig durch Beobachtungen eine ſolche Bewegung der Sonne entdecken können, wenn wir von den ſcheinbaren eigenen Bewegungen ſämmtlicher Fixſterne ſelbſt eine genaue Kenntniß hätten, und wenn wir gewiß wüßten, daß dieſe Bewegungen von einander unabhängig ſind, d. h. daß nicht das ganze Firmament, oder wenigſtens die Geſammtmaſſe der Sterne, die ſich in unſerer Nähe befinden, durch eine gemeinſame Bewegung nach einer und derſelben Richtung fortgeführt wird, als Folge von unbekannten Proceſſen und langſamen Veränderungen, die in der Sternenſchichte, zu welcher unſer Sonnenſyſtem gehört, vor ſich gehen können, etwa ſo, wie wir Stäubchen in einem Luftſtrome fortſchwimmen und dabei faſt dieſelbe relative Lage zu einander behalten ſehen. Aber es ſcheint gegenwärtig die allgemeine Anſicht der Aſtronomen zu ſeyn, daß ihre Wiſſenſchaft noch nicht reif genug iſt, um zu ſicheren Schlüſſen in Bezug auf dieſen Gegenſtand, in dem einen oder dem andern Sinne, ſchon jezt die erforderlichen Data zu liefern. Inzwiſchen iſt der Königliche Aſtronom, Herr Pond, auf die ſehr ſinnreiche Idee verfallen, daß eine Bewegung der Sonne, wenn ſie wirklich exiſtirt und eine Schnelligkeit beſizt, die mit der des Lichtes überhaupt vergleichbar iſt, nothwendig eine Solaraberration hervorbringen muß, in deren Folge wir die Fixſterne nicht ſo an der Oberfläche des Himmels vertheilt ſehen, wie ſie es in der Wirklichkeit ſind, ſondern mehr zuſammengedrängt nach der Gegend hin, welche die Sonne verläßt, und weniger dicht nach

jener, auf welche ſie zugeht. (Art. 280) So lange nun die Geſchwindigkeit der Sonne die nämliche bleibt, muß dieſe Wirkung der Aberration conſtant ſeyn, und ſie kann mithin durch Beobachtungen nicht erkannt werden; ſollte ſie ſich aber im Laufe der Jahrhunderte verändern, und zwar um eine Größe, die mit der Schnelligkeit der Erde in ihrer Bahn vergleichbar iſt, ſo würde ſich dieſes durch ein allgemeines, ſcheinbares Fortrücken ſämmtlicher Fixſterne nach der einen oder der andern Gegend des Himmels, je nachdem die Bewegung der Sonne beſchleunigt oder verzögert wäre, kund geben. Eine ſolche Veränderung, ſelbſt wenn ſie nur ſehr wenige Sekunden betrüge, würde der Beobachtung nicht entgehen. Dieſe ſubtile und weit hinausſchweifende Betrachtung kann dazu dienen, uns einen Begriff von der Feinheit und Verwickelung der Unterſuchungen zu geben, die ſich auf die eigenen Bewegungen der Fixſterne und der Sonne beziehen. Denn die vorhin erwähnte Wirkung der Solaraberration würde ſich nothwendig mit derjenigen der ſyſtematiſchen Parallaxe (Art. 602) vermiſchen, und könnte von dieſer nur durch die weitere Betrachtung abgeſondert werden, daß leztere auf die uns näher liegenden Fixſterne einen größern Einfluß hat, als auf die entfernteren, erſtere aber die nahen und entfernten auf gleiche Weiſe afficirt.

613) Wenn wir in einer heitern Nacht unſere Blicke nach dem geſtirnten Himmel richten, ſo werden wir nicht ermangeln, hier und dort Gruppen von Sternen zu bemerken, welche dichter zuſammengedrängt zu ſeyn ſcheinen, als die in ihrer Nachbarſchaft befindlichen, indem ſie förmliche Haufen oder Flecke von Sternen bilden, die unſere Aufmerkſamkeit in ſo fern in Anſpruch nehmen, als ſich uns ſogleich der Gedanke aufdringt, daß eine ſolche Zuſammenhäufung wohl in irgend einer andern allgemeinen Urſache ihren Grund haben müſſe, als in einer blos zufälligen Vertheilung der Sterne. Es gibt eine Gruppe, die Plejaden genannt, in welcher man ſechs oder ſieben Sterne bemerkt, wenn das Auge geradezu auf ſie gerichtet wird, und noch weit mehrere, wenn man das Auge nachläßig zur Seite wendet, während die Aufmerkſamkeit ganz auf die Gruppe

geheftet bleibt.*) Durch Fernröhre ſieht man in dieſer Gruppe fünfzig bis ſechzig helle Sterne, die auf dieſe Art einen ſehr mäßigen, von dem übrigen Himmel gleichſam iſolirten Raum einnehmen. Das Sternbild, welches man das Haupthaar der Berenice nennt, iſt eine andere derartige Gruppe, die eine noch größere Ausdehnung hat und aus viel helleren Sternen beſteht.

614) In dem Sternbilde des Krebſes befindet ſich ein ähnlicher, nur nicht ſo beſtimmter, leuchtender Fleck, welchen man Präſepe oder die Krippe nennt, und der ſchon durch ein ſehr mäßiges Fernrohr, z. B. durch einen gewöhnlichen Kometenſucher, gänzlich in Sterne aufgelöſet wird. Ein anderer Fleck von derſelben Art, der aber ſchon ein ſtärkeres Fernrohr erfordert, um die einzelnen Sterne, die in ihm zuſammengehäuft ſind, von einander abzuſondern, befindet ſich in dem Schwertgriffe des Perſeus. Solche Flecke nennt man Sternhaufen; und von welcher Art auch die Natur derſelben ſeyn möge, ſo iſt ſo viel gewiß, daß der Vereinigung einer ſo großen Maſſe von Sternen in ihnen, andere Geſeze zum Grunde liegen, als diejenigen, wonach die Fixſterne im Allgemeinen an der Oberfläche des Himmels vertheilt ſind. Zu dieſem Schluſſe werden wir noch weit mehr berechtigt, wenn wir dieſe und ähnliche Flecke mit ſehr kraftvollen Teleskopen unterſuchen. Es giebt eine große Zahl von Objekten am Himmel, welche man irrig für Kometen

*) Es iſt ein ſehr bemerkenswerther Umſtand, daß der Mittelpunkt der Nezhaut für ſchwache Lichteindrücke bei weitem weniger empfindlich iſt, als die äußeren Theile derſelben. Wenige Perſonen können den Umfang, bis zu welchem ſich dieſe verhältnißmäßige Unempfindlichkeit erſtreckt, beurtheilen, ehe ſie Verſuche darüber angeſtellt haben. Um ſich eine Idee davon zu machen, möge der Leſer abwechſelnd, geradezu und ſeitwärts, einen Stern von der fünften Größe betrachten; oder er möge ſich zwei gleich helle Sterne, die ungefähr drei oder vier Grade von einander abſtehen, auswählen, und den einen von ihnen geradezu ins Auge faſſen, dann wird er wahrſcheinlich nur den andern ſehen; ſo iſt es wenigſtens bei mir der Fall. Dieſer Umſtand erklärt es uns, warum wir bei dem erſten Allgemeinen Ueberblick des Himmels die Menge der Sterne ſo groß finden, und verhältnißmäßig ſo gering, wenn wir anfangen, ſie wirklich zu zählen. — Der Verfaſſer.

gehalten hat, und die in der That mit den Kometen ohne Schweife ſehr viel Aehnlichkeit haben, indem ſie kleine, neblichte, runde oder ovale, Flecke ſind, und auch in Fernröhren von mäßiger Kraft ſich nur als ſolche zeigen. Meſſier hat in der Connaissance des temps für 1784 ein Verzeichniß der Oerter von 103 Objekten dieſer Art gegeben, mit denen alle diejenigen, die ſich mit der Aufſuchung von Kometen beſchäftigen, vertraut ſeyn ſollten, um nicht durch die Aehnlichkeit des Anſehns irre geführt zu werden. Daß übrigens dieſe Objekte keine Kometen ſind, beweiſet die Unveränderlichkeit ihres Ortes zur Genüge; und wenn wir ſie mit Inſtrumenten von einer großen optiſchen Kraft unterſuchen, z. B. mit Reflektoren, die eine Oeffnung von achtzehn Zollen, zwei Fuß und darüber haben, ſo verſchwindet jede ſolche Idee vollends. Alsdann finden wir, daß ſie größtentheils gänzlich aus Sternen beſtehen, die in einen Raum zuſammengedrängt ſind, deſſen Umfang faſt ſcharf begränzt iſt, und der in ſeinem Mittelpunkte, wo die Dichtigkeit der Sterne gewöhnlich am größten iſt, den Anblick eines Lichtflämmchens darbietet. Man ſehe Fig. 1 Pl. 2, welche, obſchon etwas roh, den dreizehnten Nebelfleck nach dem Verzeichniſſe von Meſſier (der ihn als nébuleuse sans étoiles beſchrieben hat) darſtellt, ſo wie er ſich in dem zwanzigfüßigen Reflektor zu Slough zeigt.*) Mehrere von dieſen Objekten haben in der That eine genau kreisrunde Geſtalt, und entſprechen vollkommen der Idee eines kugelförmigen, mit Sternen angefüllten Raumes, der für ſich iſolirt iſt, und getrennt von den übrigen Sternen eine beſondere Familie oder Geſellſchaft einſchließt, die nur ihren eigenen Geſezen gehorcht. Es würde vergebliche Mühe ſeyn, zu verſuchen, die Sterne in einem einzigen von dieſen kugelförmigen Sternhaufen zu zählen. Nicht durch Hunderte würde dieſe Zahl ausgedrückt werden, ſondern nach einer

*) Dieſer ſchöne Nebelfleck wurde zuerſt von Halley im Jahre 1714 bemerkt. Er iſt dem bloßen Auge ſichtbar und ſteht zwiſchen den Sternen η und ζ Herculis. In einem Kometenſucher erſcheint er genau ſo, wie ein kleiner runder Komet.

rohen Schäzung, gegründet auf den Winkeldurchmeſſer des ganzen Sternhaufens und auf die ſcheinbaren Zwiſchenräume der einzelnen Sterne am Rande deſſelben (wo ſie nicht auf einander projicirt erſcheinen,) würde man finden, daß viele von dieſen Haufen wenigſtens zehn bis zwanzig Tauſend Sterne enthalten müſſen, die in einen kugelförmigen Raum zuſammengedrängt ſind, deſſen Durchmeſſer acht bis zehn Minuten nicht überſteigt, und deſſen Fläche mithin nicht größer iſt, als der zehnte Theil der Fläche, die durch die Mondsſcheibe am Himmel verdeckt wird.

615) Es möchte vielleicht als ein rieſenhafter Gedanke erſcheinen, die einzelnen Sterne, die eine ſolche Gruppe bilden, als Sonnen zu betrachten, die der unſrigen ähnlich ſind, und ihre Abſtände von einander den Entfernungen der uns zunächſt liegenden Fixſterne von unſerer Sonne gleich zu ſezen. Wenn wir jedoch bedenken, daß der vereinigte Glanz derſelben einen geringern Lichteindruck auf das Auge hervorbringt, als ein Stern von der fünften oder ſechsten Größe, indem ſelbſt die größten von dieſen Sternhaufen kaum dem freien Auge ſichtbar ſind, ſo wird die Vorſtellung, die wir uns von ihrer Entfernung von uns zu machen genöthigt ſind, ſelbſt dazu beitragen, unſere Einbildungskraft mit einer ſolchen Schäzung ihrer Dimenſionen vertraut zu machen. Jedenfalls wird es uns kaum möglich ſeyn, in einem ſolchen Sternhaufen, der ſo iſolirt am Himmel ſteht, ſo in se ipso totus, teres, atque rotundus iſt, etwas Anderes, als ein für ſich beſtehendes Sternſyſtem von einem beſondern und beſtimmten Charakter zu erkennen. Die runde Geſtalt derſelben zeigt klar das Vorhandenſein irgend eines allgemeinen Vereinigungsbandes von der Natur der anziehenden Kräfte an; und bei vielen von ihnen bemerken wir deutlich eine Zunahme in dem Verhältniſſe ihrer Verdichtung gegen den Mittelpunkt hin, die nicht vereinbar iſt mit einer blos gleichmäßigen Vertheilung von Sternen, welche innerhalb eines kugelförmigen Raumes gleichweit von einander abſtehen, ſondern die vielmehr eine wirkliche, gegen den Mittelpunkt der ganzen Sternenmaſſe immer größer werdende Dichtig-

keit derſelben anzeigt. Es iſt ſchwierig, ſich einen Begriff von dem dynamiſchen Zuſtande ſolcher Sternſyſteme zu machen. Auf der einen Seite iſt es, ohne eine rotatoriſche Bewegung und eine Centrifugalkraft anzunehmen, kaum möglich, ſich dieſelben anders, als im Zuſtande eines beſtändig fortſchreitenden Zuſammenfallens vorzuſtellen; auf der andern Seite finden wir es, wenn wir eine ſolche Bewegung und eine ſolche Kraft zugeben, nicht minder ſchwierig, die ſcheinbare Kugelgeſtalt derſelben mit einer Umdrehung des ganzen Syſtemes um eine einzige Axe zu vereinigen, oder die Nichtexiſtenz innerer Colliſionen zu erklären, die ohne eine derartige Rotation unvermeidlich ſtattfinden würden.*) — Das folgende Täfelchen enthält die Oerter für 1830 von einigen der bemerkenswertheſten dieſer Himmelsobjekte, als Beiſpiele von der Klaſſe, zu welcher ſie gehören:

Ger. Aufſt.		Nördl. Pol. Diſt.		Ger. Aufſt.		Nördl. Pol. Diſt.	
h	m	°	'	h	m	°	'
13	5	70	55	17	29	93	8
13	34	60	45	21	22	78	34
15	10	87	16	21	25	91	34
16	36	53	13				

616) Eine vollſtändige Analyſe aller der ſehr verſchiedenartigen Himmelsobjekte, die man unter der gemein-

*) Wenn wir uns einen kugelförmigen Raum mit Sternen von gleicher Maſſe angefüllt vorſtellen, die überall in demſelben gleichmäßig vertheilt und ſehr zahlreich ſind, und die ſich einander mit einer, dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportionalen Kraft anziehen, ſo wird die reſultirende Kraft, von welcher ein jeder von ihnen (diejenigen an der Oberfläche des kugelförmigen Raumes allein ausgenommen) in Folge ihrer vereinigten Attractionen ſollicitirt wird, nach dem Mittelpunkte des ſphäriſchen Raumes gerichtet ſeyn, und ſich direkt verhalten, wie die Entfernung eines jeden Sterns von dieſem Mittelpunkte. Dieſes ergibt ſich aus dem, was Newton über das Geſez der Anziehung *im Innern* einer homogenen Kugel bewieſen hat. In Folge eines ſolchen Attractionsgeſezes würde nun jeder einzelne Stern um jenen gemeinſchaftlichen Schwerpunkt des Sy-

ſchaftlichen Benennung von Nebelflecken begreift, verdandanken wir Sir William Herſchel, der ſie, wie folgt, in Klaſſen abgetheilt hat: 1) Sternhaufen, bei denen man die einzelnen Sterne deutlich von einander unterſcheiden kann, und die ihrerſeits wieder in kugelförmige und unregelmäßig geſtaltete Sternhaufen eingetheilt werden. 2) Auflösbare Nebelflecke, oder ſolche, welche vermuthen laſſen, daß ſie aus Sternen beſtehen, und von denen man erwarten kann, daß ſie ſich bei einer Verſtärkung der optiſchen Kraft der Fernröhre in beſtimmt zu unterſcheidende Sterne auflöſen werden. 3) Nebelflecke im eigentlichen Sinne des Worts, bei denen gar kein Anſchein von einer Zuſammenſezung aus Sternen vorhanden iſt, und die, ihrer Helligkeit und Größe nach, wieder in untergeordnete Klaſſen eingetheilt werden, nämlich:

ſtems eine vollkommene Ellipſe beſchreiben, deren Mittelpunkt dieſer Schwerpunkt iſt, in welcher Ebene und in welcher Richtung ſich übrigens auch der Stern bewegen möge. Die Bedingung einer Rotation des geſammten Sternhaufens um eine einzige Axe würde daher nicht nothwendig ſeyn. Eine jede Ellipſe, was ſie auch für eine Excentricität, oder für eine Neigung ihrer Ebene gegen die der übrigen haben möge, würde für jeden einzelnen Stern unveränderlich ſeyn, und alle würden in einem und demſelben Zeitraume beſchrieben werden, ſo daß am Ende einer jeden ſolchen Periode, oder des großen Jahres des Syſtemes, jeder Stern des kugelförmigen Sternhaufens (mit Ausnahme der an der Oberfläche deſſelben befindlichen) genau wieder ſeine urſprüngliche Stellung einnehmen würde, um ſodann aufs Neue dieſelbe unveränderliche Bahn zu beſchreiben, und auf dieſe Art ſeinen Lauf, eine unbeſtimmte Reihe von Jahrtauſenden hindurch, fortzuſezen. Wenn wir daher annehmen, daß die einzelnen Sterne hinſichtlich ihrer Bewegungen zu irgend einer Zeit eine ſolche Anordnung erhalten haben, daß die Bahnen derſelben einander nicht durchſchneiden, und daß die Größe jedes Sterns und der Umfang der Sphäre, in welcher ſeine Attraktion vorherrſchend iſt, in einem nur geringen Verhältniſſe zu den Entfernungen der einzelnen Sterne von einander ſtehen, ſo würde ein ſolches Syſtem offenbar fortbeſtehen können, und es würden ſich demzufolge nach einem großen Maaßſtabe jene theoretiſch abgeleiteten, harmoniſchen Relationen verwirklichen, welche, wie Newton in der 89ten Propoſition des erſten Buches ſeiner Principia gezeigt hat, ſtattfinden, wenn die Attraction ſich direkt verhält, wie die Entfernung vom Anziehungsmittelpunkte. Man ſehe auch das Quarterly Review, Nro. 94, Pag. 540. Der Verfaſſer.

4) planetenartige Nebelflecke, 5) fixſternartige Nebelflecke, und 6) neblige Sterne. Die große Kraft ſeiner Teleskope hat uns das Daſeyn einer außerordentlichen Menge von dieſen Objekten enthüllt, und gezeigt, daß dieſelben keineswegs gleichförmig an der Oberfläche des Himmels vertheilt ſind, ſondern daß ſie, allgemein zu reden, vorzugsweiſe eine breite Zone einnehmen, welche die Milchſtraße nahezu rechtwinklig durchſchneidet, und deren Richtung im Allgemeinen ſich nicht ſehr von dem Stundenkreiſe von 0^h und 12^h entfernt. In einigen Theilen dieſer Zone, beſonders da, wo ſie die Sternbilder der Jungfrau, des Haupthaars der Berenice und des großen Bären durchkreuzt, finden ſich dieſe Objekte wirklich in großer Anzahl vor; ſie ſind aber größtentheils teleskopiſch, und können nur durch ſehr ſtarke Fernröhre geſehen werden.

617) Die Sternhaufen ſind entweder kugelförmig, wie wir ſolche bereits beſchrieben haben, oder von einer unregelmäßigen Geſtalt. Dieſe lezteren ſind im Allgemeinen weniger ſternreich, und namentlich gegen ihren Mittelpunkt hin weniger verdichtet. Auch iſt ihr Umriß nicht ſo ſcharf gezeichnet, ſo daß es oftmals ſchwierig iſt, zu entſcheiden, ob ſie irgendwo eine Gränze haben, oder ob ſie nicht vielmehr blos als Theile des Himmels angeſehen werden können, die ſternreicher ſind, als die ſie umgebenden. Bei einigen von ihnen ſind die Sterne nahezu alle von einerlei Größe, bei anderen ſind ſie außerordentlich verſchieden; auch iſt es nichts Ungewöhnliches, unter dieſen einen röthlichen Stern zu finden, der viel heller iſt, als alle übrigen, und der in Bezug auf leztere irgend eine bemerkenswerthe Stellung einnimmt. Sir William Herſchel betrachtet ſolche Sternhaufen als kugelförmige, die ſich noch in einem weniger vorgerückten Verdichtungszuſtande befinden, indem er der Anſicht iſt, daß alle dieſe Gruppen, in Folge der gegenſeitigen Anziehung der in ihnen enthaltenen Sterne, ſich der Kugelgeſtalt immer mehr nähern, und daß ſie aus den ſie umgebenden Theilen des Himmels ſich zuſammenhäufen, nach Geſezen, für die wir freilich keinen andern Beweis haben, als die Wahrnehmung einer gewiſſen Gradation, nach welcher die eine Art von Sternhaufen in die andere

übergeht, ſo daß es unmöglich iſt, anzugeben, wo die eine Art aufhört und die andere anfängt.

618) Auflösbare Nebelflecke können demnach als Sternhaufen angeſehen werden, die entweder zu entfernt ſind, oder aus Sternen beſtehen, deren wirkliches Licht zu ſchwach iſt, um ſie einzeln unterſcheiden zu können, wenn nicht etwa zufällig zwei oder drei von ihnen ſehr nahe beiſammen ſtehen, die ſodann durch ihr vereinigtes Licht bewirken, daß wir einen Punkt wahrzunehmen glauben, der heller iſt, als die übrigen Theile. Sie ſind faſt alle rund oder oval, indem die lockeren Anhänge derſelben und die Unregelmäßigkeiten ihrer Geſtalt durch die Entfernung gleichſam verwiſcht werden, ſo daß nur der allgemeine Umriß der mehr verdichteten Theile derſelben von uns erkannt werden kann. Solche Nebelflecke haben daſſelbe Anſehn, welches alle größeren kugelförmigen Sternhaufen in Fernröhren darbieten, die zu ſchwach ſind, um die einzelnen Sterne derſelben gut zu ſehen; und es iſt daher eine ſehr natürliche Schlußfolgerung, daß alle diejenigen, die mit den ſtärkſten Fernröhren kaum aufzulöſen ſind, bei einer noch größern Vervollkommnung der Sehwerkzeuge ſich vollſtändig auflöſen würden.

619) Bei den eigentlich ſo genannten Nebelflecken finden ebenfalls ſehr große Verſchiedenheiten ſtatt. Die bei weitem merkwürdigſten ſind diejenigen, die in den Figuren 2 und 3 (Pl. 5) abgebildet ſind, von denen erſtere den Nebel darſtellt, welcher den vierfachen (oder vielmehr ſechsfachen) Stern θ im Sternbilde des Orion umgibt, leztere den Nebel um den Stern η in dem ſüdlichen Sternbilde der Eiche Karls II. Der erſtere Nebelfleck wurde von Huyghens im Jahre 1656 entdeckt, und er iſt ſo abgebildet, wie er ſich in dem zwanzigfüßigen Reflektor zu Slough zeigt; der andere, von Lacaille entdeckte, iſt nach einer Zeichnung abgebildet, die Dunlop von ihm in den Philos. Transact. 1827 gegeben hat. Der Nebel dieſer Objekte, wenigſtens des erſtern, iſt ſehr verſchieden von demjenigen, der durch eine Zuſammenhäufung einer unendlichen Menge von kleinen Sternen erzeugt wird. Er beſteht aus kleinen lockeren Maſſen, wie Flocken von Wolken, und ſolche

Flocken ſcheinen an ihrem Saume an einer Menge von kleinen Sternen zu hängen, beſonders aber an einem Hauptſterne (in der Figur unter dem Nebel befindlich,) welcher von einer nebligen Atmoſphäre von beträchtlicher Ausdehnung und ſonderbarer Geſtalt umhüllt iſt. Einige Aſtronomen haben aus einer Vergleichung dieſes Nebels mit den Zeichnungen, welche der Entdecker deſſelben, Huyghens, von ihm gegeben hat, den Schluß gezogen, daß ſeine Geſtalt merkliche Veränderungen erfahren habe. Wenn wir aber bedenken, wie ſchwierig es iſt, einen ſolchen Gegenſtand genau nachzubilden, und wie gänzlich verſchieden er ſich, ſelbſt in dem nämlichen Fernrohre, je nach dem Grade der Durchſichtigkeit der Luft, oder der Einwirkung anderer temporären Urſachen, zeigen kann, ſo werden wir gern zugeben, daß wir für eine ſolche Veränderung der Geſtalt des Nebels durchaus keinen ſichern Beweis haben.

620) In Fig. 3 Pl. 2 iſt ein Nebelfleck von einer ganz verſchiedenen Art dargeſtellt. Das Original dieſer Figur findet ſich in dem Sternbilde der Andromeda in der Nähe des Sterns ν. Man kann ihn mit freiem Auge ſehen, und er wird von denen, die mit dem geſtirnten Himmel nicht vertraut ſind, immer für einen Kometen gehalten. Simon Marius, der ihn im Jahre 1612 bemerkte, vergleicht ihn mit einem Lichte, welches man durch Horn ſieht, und dieſer Vergleich iſt nicht unpaſſend. Seine Geſtalt iſt die eines ziemlich langen Ovals, deſſen Helligkeit, von den Rändern an, zuerſt in ſehr langſamen, unmerklichen Abſtufungen, zulezt aber mit ſchnelleren Schritten, bis zu einem Centralpunkte anwächst, der, obgleich viel heller, als der übrige Nebel, doch augenſcheinlich durchaus nichts ſternartiges beſizt, ſondern nur eine Nebelmaſſe in einem weit mehr verdichteten Zuſtande iſt. Man ſieht in dieſem Nebelflecke einige kleine Sterne, aber dieſe ſtehen offenbar nur durch Zufall darin, und der Nebel ſelbſt bietet in ſeinem Anſehn auch nicht das Geringſte dar, wodurch man auf den Gedanken kommen könnte, daß er aus Sternen beſtehe. Er hat übrigens eine beträchtliche Größe, indem er faſt einen halben Grad lang, und 15 bis 20 Minuten breit iſt.

621) Man kann dieſen Nebelfleck als ein Muſter nach einem großen Maaßſtabe annehmen für eine ſehr zahlreiche Klaſſe von Nebelflecken, die eine runde oder ovale Geſtalt haben, und deren Dichtigkeit gegen den Mittelpunkt hin mehr oder weniger zunimmt. In lezterer Hinſicht ſind ſie jedoch ſehr von einander verſchieden. Bei einigen iſt die Verdichtung gering und geſchieht ſtufenweiſe, bei anderen iſt ſie ſehr bedeutend und erfolgt plözlich; ſo plözlich in der That, daß ſie das Anſehn eines blaſſen, oder mit einem leichten Schleier umgebenen Fixſternes erhalten, in welchem Falle ſie fixſternartige Nebelflecke genannt werden. Andere dagegen bieten die ſchöne und merkwürdige Erſcheinung eines ſcharf begränzten und hellen Sternes dar, welcher von einer vollkommen kreisförmigen Scheibe umgeben iſt, oder von einer Atmosphäre, die in einigen Fällen ein ſchwaches, nach allen Seiten hin allmählig verſchwindendes Licht beſizt, in anderen aber eine faſt plözliche Gränze hat. Dieſes ſind die Nebelſterne. Ein ſehr ſchönes Beiſpiel von einem ſolchen Sterne iſt 55 Andromedae in 1^h 43^m gerader Aufſteigung und 50^0 7′ nördlicher Polardiſtanz. In dem Sternbilde des Orion ſind die Sterne ε und ι ebenfalls Nebelſterne, aber der Nebel kann nur mit ſehr ſtarken Teleskopen erkannt werden. Eine große Verſchiedenheit findet auch in dem Grade, in welchem die ovalen Nebelflecke von der Kugelgeſtalt abweichen, ſtatt. Einige ſind nur wenig elliptiſch, andere haben eine große Ausdehnung in die Länge, und bei mehreren iſt dieſe Ausdehnung ſo beträchtlich, daß ſie das Anſehn eines langen, ſchmalen, ſpindelförmigen Strahles erhalten, der an beiden Enden in Spizen ausläuft. Eines der merkwürdigſten Beiſpiele dieſer Art findet ſich in 12^h 28^m gerader Aufſteigung und 63^0 4′ nördlicher Polardiſtanz.

622) Es gibt auch ringförmige Nebelflecke, aber dieſe gehören zu den ſeltenſten Gegenſtänden am Himmel. Der merkwürdigſte von dieſer Klaſſe findet ſich gerade in der Mitte zwiſchen den Sternen β und γ im Sternbilde der Leier, und kann ſchon mit einem Fernrohre von mäßiger Kraft geſehen werden. Er iſt klein, aber beſonders gut bekränzt, ſo daß er wirklich mehr das An-

ſehn eines flachen und ovalen Ringes von feſter Maſſe beſizt, als das eines Nebelflecks. Die Axen des Ovals verhalten ſich zu einander ungefähr wie 4 zu 5, und die Oeffnung deſſelben iſt etwa halb ſo groß, wie ſein Durchmeſſer. Sein Licht iſt nicht ganz gleichförmig, ſondern hat den Schein von etwas Geronnenem, vorzüglich am äußern Rande; die innere Oeffnung iſt nicht vollkommen dunkel, ſondern mit einem ſchwachen, nebligen Lichte ausgefüllt, das gleichförmig in derſelben verbreitet iſt, wie ein feines, durchſichtiges Gewebe, das man über einen Ring ſpannt.

623) Aeußerſt merkwürdig ſind die planetenartige Nebelflecke. Sie haben, wie ihr Name anzeigt, ganz das Anſehn von Planeten. Es ſind nämlich runde, oder nur wenig ovale Scheiben, die in einigen Fällen ganz ſcharf begränzt, in anderen an den Rändern etwas nebIig ſind. Das Licht derſelben iſt entweder vollkommen gleichförmig, oder nur ſehr wenig ſchattirt, und kommt an Lebhaftigkeit zuweilen dem Lichte der wirklichen Planeten faſt gleich. Von welcher Natur auch dieſe Nebelflecke ſeyn mögen, ſo müſſen ſie eine enorme Größe beſizen. Einer derſelben befindet ſich auf dem Parallel von ν Aquarii, welchem Sterne er etwa 5 Minuten in Zeit vorausgeht. Sein ſcheinbarer Durchmeſſer iſt ungefähr 20 Sekunden groß. Ein anderer, in dem Sternbilde der Andromeda, zeigt ſich als eine Scheibe von 12 Sekunden im Durchmeſſer, die vollkommen rund und ſcharf begränzt iſt. Nehmen wir an, daß dieſe Objekte eben ſo weit von uns entfernt ſind, als die Fixſterne, ſo muß, nach dem niedrigſten Anſchlage, der wirkliche Umfang derſelben dem Umfange der Uranusbahn gleichkommen. Nicht minder einleuchtend iſt, daß, wenn ſie feſte Körper von der Natur der Sonne ſind, der wirkliche Glanz ihrer Oberflächen unendlich ſchwächer ſeyn muß, als der der leztern. Ein kreisförmiges Stück der Sonnenſcheibe, das ſich unter einem Winkel von 20 Sekunden zeigte, würde ein Licht von ſich geben, das dem von hundert Vollmonden gleichkäme, während die in Frage ſtehenden Objekte kaum noch mit freiem Auge zu erkennen ſind. Die Gleichförmigkeit ihrer Scheiben und der Mangel einer

ſcheinbaren Verdichtung gegen den Mittelpunkt hin laſſen uns muthmaßen, daß das Licht derſelben lediglich von ihrer Oberfläche, wie von einer hohlen, ſphäriſchen Schale, herrührt. Ueber die Frage aber, ob dieſe Höhlung mit einer feſten oder flüſſigen Maſſe angefüllt, oder ob ſie ganz leer iſt, Vermuthungen aufzuſtellen, würde ganz unnüz ſeyn.

624) Unter den Nebelflecken, die eine auffallend ſymmetriſche Form beſizen und daher berechtigt zu ſeyn ſcheinen, als Syſteme von einer beſondern Art betrachtet zu werden, wie räthſelhaft uns übrigens auch die innere Structur und die Beſtimmung derſelben ſeyn möge, ſind der 51te und 27te nach Meſſier's Verzeichniſſe die merkwürdigſten. Der erſte beſteht aus einem großen und hellen, kugelförmigen Nebel, der, in beträchtlicher Entfernung von ihm, von einem doppelten Ringe umgeben iſt, oder vielmehr von einem einzigen Ringe, welcher durch etwa zwei Fünftel ſeines Umfangs in zwei Hälften geſpalten, und deſſen einer Theil über die Ebene des übrigen Ringes gleichſam aufgeſtülpt iſt. Der andere beſteht aus zwei hellen und ſtark verdichteten, runden oder nur ſehr wenig ovalen Nebelflecken, welche durch einen kurzen Hals, der nahezu dieſelbe Dichtigkeit beſizt, mit einander verbunden ſind. Eine ſchwache, neblige Atmoſphäre, die beide Kugeln umgibt, vollendet das Syſtem. Der Umriß dieſer Atmoſphäre iſt der einer umſchriebenen Ellipſe, deren kleine Axe die ſymmetriſche Axe des Syſtems, um welche man ſich daſſelbe als rotirend vorſtellen könnte, oder die Linie iſt, die durch die Mittelpunkte der beiden Nebelkugeln geht. Dieſe beiden Nebelflecke ſind früher nie genügend beſchrieben worden, da die Inſtrumente, mit denen ſie anfänglich entdeckt und beobachtet wurden, durchaus unzureichend waren, um die vorhin erwähnten Eigenthümlichkeiten derſelben zu zeigen, durch welche ſie einer Klaſſe von Nebelflecken anzugehören ſcheinen, die von allen übrigen gänzlich abweicht. Der eine bietet auffallende Analogieen dar ſowohl mit dem Baue des Saturn, als mit dem unſeres eigenen Firmamentes und der Milchſtraße; der andere hat wenig oder gar keine Aehnlichkeit mit irgend einem uns bekannten Himmelsobjekte.

625) Die Nebelflecke bieten uns, aus welchem Ge-

33*

ſichtspunkte wir ſie auch betrachten mögen, ein unerſchöpfliches Feld der Forſchung und Muthmaßung dar. Daß bei weitem der größere Theil derſelben aus lauter Sternen beſteht, kann wohl kaum bezweifelt werden; aber in dieſer unendlichen Aneinanderreihung von Syſtemen an Syſteme, von Firmamenten an Firmamente, die auf dieſe Art unſerm Blicke ſich aufſchließt, verliert ſich die Einbildungskraft. Wenn es auf der andern Seite wahr iſt, wie es wenigſtens allen Anſchein zu haben ſcheint, daß eine ſelbſtleuchtende oder phosphoreſcirende Materie exiſtirt, die durch den unendlichen Himmelsraum nach Art einer Wolke oder eines Nebels verbreitet iſt, und welche das eine Mal ſeltſame Geſtalten annimmt, wie die wirklichen Wolken, die vom Winde getrieben werden, das andere Mal wie eine Kometenatmosphäre ſich um gewiſſe Sterne concentrirt, — ſo fragen wir natürlich: Welches iſt die Natur und die Beſtimmung dieſer nebligen Subſtanz? Wird ſie von den Sternen, in deren Nähe ſie ſich befindet, abſorbirt, um vielleicht durch ihre Verdichtung einen Beitrag an Licht und Wärme zu liefern? Oder verdichtet ſie ſich ſelbſt durch die Wirkung ihrer eigenen Schwerkraft ſtufenweiſe immer mehr und mehr zu feſten Maſſen, und legt ſie ſo den Grund zu neuen Sternſyſtemen oder einzelnen Sternen? Es iſt leichter, ſolche Fragen aufzuwerfen, als eine Antwort darauf zu geben, die irgend Wahrſcheinlichkeit für ſich hat. Inzwiſchen bleibt die Berufung auf Thatſachen mittelſt unausgeſezter und ſorgfältiger Beobachtung uns offen; und ſo wie die Doppelſterne ſich dieſer Art von Fragen gefügt und uns bereits eine Reihe von eben ſo intereſſanten, als leicht zu begreifenden Verhältniſſen enthüllt haben, ſo können wir auch mit allem Grunde hoffen, daß ein fortgeſeztes Studium der Nebelflecke uns, früher oder ſpäter, zu einer klareren Einſicht in die wahre Natur derſelben führen wird.

626) Wir wollen dieſes Kapitel ſchließen, indem wir einer Erſcheinung erwähnen, welche anzudeuten ſcheint, daß unſere Sonne ſelbſt von einer ſehr leichten, nebligen Subſtanz umgeben iſt, und daß auch ſie auf die Liſte der Nebelſterne geſezt werden kann. Dieſe Erſcheinung

iſt das ſogenannte Zodiakallicht, welches ſich, um die Zeit der Monate April und Mai, an jedem ſehr heitern Abend nach Sonnenuntergang, oder in der entgegengeſezten Jahreszeit vor Sonnenaufgang, in der Form eines kegel- oder linſenförmigen Lichtes zeigt, das ſich vom Horizonte ſchräg aufwärts erſtreckt, und deſſen Richtung im Allgemeinen dem Laufe der Ekliptik, oder vielmehr dem des Sonnenäquators folgt. Der ſcheinbare Winkelabſtand ſeines Scheitels von der Sonne iſt, den Umſtänden nach, von 40 bis zu 90 Graden veränderlich, und die Breite ſeiner Grundfläche, ſenkrecht auf ſeine Axe genommen, von 8 bis zu 30 Graden. Dieſes Licht iſt außerordentlich ſchwach und hat eine ſchlechte Begränzung, wenigſtens in unſeren Klimaten; in den tropiſchen Gegenden ſieht man es beſſer, und auf keine Weiſe kann es mit einem atmosphäriſchen Meteore oder mit einem Nordlichte verwechſelt werden. Es iſt offenbar von der Natur einer ſehr dünnen, linſenförmig geſtalteten Atmosphäre, welche die Sonne umgiebt und ſich wenigſtens über die Bahn des Merkur, ja ſelbſt noch über die der Venus hinaus erſtreckt. Man kann annehmen, daß dieſe Atmosphäre nichts anderes iſt, als der dichtere Theil des Mediums, von welchem wir allen Grund haben zu glauben, daß es der Bewegung der Kometen widerſteht; und vielleicht enthält dieſelbe wirkliche Schweiftheilchen von Millionen von dieſen Himmelskörpern, die ihnen bei ihren jedesmaligen Durchgängen durch die Sonnennähe (Art. 487) entzogen werden und ſich allmählig zur Sonne herabſenken.

Dreizehntes Kapitel.

Vom Kalender.

627) Die Zeit kann, wie eine Entfernung, durch Vergleichung mit einer Maaßeinheit von beliebiger Länge gemeſſen werden. Zur genauen Beſtimmung der Länge eines Zwiſchenraums iſt es erforderlich, daß man im Stande ſey, die Maaßeinheit auf die ganze Ausdehnung deſſelben ſo anzuwenden, daß ſie weder an dem einen Ende des Zwiſchenraums vorſtehe, noch an dem andern ungemeſſene Lücken zurücklaſſe; ferner, daß man, ohne Rückſicht auf den möglichen Fehler der Einheit, die Zahl der ganzen Einheiten beſtimme, welche der Zwiſchenraum von ſeinem Anfange bis zu ſeinem Ende zuläßt, und daß man genau den Bruchtheil der Einheit abſchäze, der noch außer den möglichen ganzen Einheiten in dem vorgegebenen Zwiſchenraume enthalten iſt.

628) Obgleich man aber in der Theorie alle beliebigen Zeitmaaße als Einheiten annehmen kann, ſo ſind ſie doch in der Praxis nicht alle gleich zweckmäßig. Das tropiſche Jahr und der Sonnentag ſind von der Natur gegebene, den Bedürfniſſen des Menſchen und allen ſeinen Lebensverhältniſſen entſprechende Einheiten, und wir werden daher genöthigt, dieſe als unſer größeres und kleineres Zeitmaaß für alle Zwecke des bürgerlichen Lebens anzunehmen, troz der Unbequemlichkeiten, die, wenn noch eine andere Wahl übrig bliebe, uns ſogleich veranlaſſen würden, von dem einen oder von dem andern abzugehen. Die hauptſächlichſten dieſer Unbequemlichkeiten ſind die Incomenſurabilität jener beiden Einheiten, und der Mangel einer vollkommenen Gleichförmigkeit wenigſtens bei einer derſelben.

629) Die mittleren Längen des Sterntages und des

ſideriſchen Jahres ſind, wenn man ſie nach dem mittlern Durchſchnitte einer hinreichend großen Anzahl ihrer Perioden beſtimmt, um die Schwankungen auszugleichen, die bei dem einen aus der Nutation, bei dem andern aus den, von den Configurationen der Planeten herrührenden Ungleichheiten entſpringen, die zwei unveränderlichſten Zeiteinheiten, welche die Natur uns darbietet, erſtere wegen der Gleichförmigkeit der täglichen Umdrehung der Erde, leztere wegen der Unveränderlichkeit der großen Axen der Planetenbahnen. Hieraus folgt, daß der mittlere Sonnentag ebenfalls eine unveränderliche Größe iſt. Anders verhält es ſich mit dem tropiſchen Jahre. Die Bewegung der Aequinoctialpunkte hängt nicht allein von dem Zurückſchreiten des Aequators auf der Ekliptik ab, ſondern theilweiſe auch von der Verrückung der Ekliptik in Bezug auf die Bahnen aller übrigen Planeten. Dieſe Bewegung iſt folglich veränderlich, und hieraus entſteht eine Veränderlichkeit in dem tropiſchen Jahre, weil daſſelbe von dem Orte des Aequinoctiums abhängig iſt (Art. 517 und 328.) Das tropiſche Jahr iſt gegenwärtig um etwa 4 1/5 Sekunden kürzer, als es zur Zeit des Hipparch war. Dieſer Mangel eines der weſentlichſten Erforderniſſe für ein Normalmaaß, nämlich der Unveränderlichkeit deſſelben, nöthigt uns, da wir nicht umhin können, das tropiſche Jahr in unſerer Zeitrechnung anzuwenden, dem leztern einen willkührlichen oder künſtlichen Werth beizulegen, der der Wahrheit ſo nahe kommt, daß aus der Anhäufung ſeines Fehlers während mehrerer Jahrhunderte kein praktiſcher Nachtheil entſteht, ſondern allen gewöhnlichen Bedürfniſſen des bürgerlichen Lebens dadurch genügt wird; während für wiſſenſchaftliche Zwecke das auf dieſe Weiſe feſtgeſezte tropiſche Jahr nur als ein Stellvertreter von einer gewiſſen Anzahl ganzer Tage und einem Bruche von einem Tage angeſehen wird, indem in der That der Tag die allein angewendete Zeiteinheit iſt. Es verhält ſich damit ungefähr eben ſo, wie mit der Berechnung eines Werthes in Gold- oder Silbermünzen, nach einem künſtlichen, durch ein Geſez verordneten Werthverhältniſſe zwiſchen beiden, das nahezu das richtige iſt, aber wohl niemals mit dem natürlichen,

aus dem relativen Marktpreiſe des Goldes und Silbers hervorgehenden Werthverhältniſſe dieſer Metalle genau übereinſtimmt, von denen man dasjenige, das am wenigſten hinſichtlich ſeines Preiſes veränderlich und auch bei anderen Nationen am häufigſten im Gebrauch iſt, als die eigentliche, theoretiſche Maaßeinheit für Werthbeſtimmungen annehmen ſollte.

630) Die andere Unbequemlichkeit der in Frage ſtehenden Zeiteinheiten iſt ihre Incommenſurabilität. Bei den Maaßen, die wir zur Meſſung des Raumes anwenden, ſind alle unſere Unterabtheilungen aliquote Theile der Haupteinheit, wie z. B. ein Fuß zwölf oder zehn Zolle, ein Zoll zwölf oder zehn Linien enthält, u. ſ. w. Aber ein Jahr iſt nicht genau eine gewiſſe Zahl von Tagen, oder eine ganze Zahl mit irgend einem genauen Bruche, als einem Drittel oder einem Viertel eines Tages, ſondern der Exceß über die ganze Zahl der Tage iſt ein incommenſurabeler Bruch, der aus Stunden, Minuten, Sekunden u. ſ. w. zuſammengeſezt iſt, wodurch dieſelbe Art von Unbequemlichkeit in der Zeitrechnung entſteht, welche beim Geldzählen ſtattfinden würde, wenn eine werthvollere Münze nicht genau einer gewiſſen ganzen Zahl, oder einer ganzen Zahl und einem genauen Bruche von geringeren Münzſorten gleich wäre. Hiergegen giebt es indeſſen kein anderes Mittel, als die überzähligen Brüche genau in Rechnung zu nehmen, und ſo oft ſie ſich durch ihre Summirung bis zu dem Betrage eines ganzen Tages angehäuft haben, denſelben der ganzen Zahl der Tage hinzuzuſchlagen.

631) Dieſe Operation auf die einfachſte und bequemſte Art auszuführen, iſt der Zweck eines gut eingerichteten Kalenders. In dem Gregorianiſchen Kalender, welchem wir bei unſerer Zeitrechnung folgen, wird dieſer Zweck mit bewundernswürdiger Einfachheit dadurch erreicht, daß man das obige Princip eines willkührlichen, künſtlichen Jahres noch etwas weiter ausgedehnt hat, indem man zwei ſolche Jahre angenommen, die beide aus einer ganzen Zahl von Tagen, das eine nämlich aus 365, das andere aus 366 Tagen beſtehen, und dabei eine einfache, leicht zu behaltende Regel hinſichtlich der Ordnung auf-

geſtellt hat, in welcher dieſe beiden Jahre bei der bürgerlichen Zeitrechnung auf einander folgen, wodurch bewirkt worden iſt, daß nach Verlauf von wenigſtens tauſend Jahren die Summe der verfloſſenen künſtlichen, ganzen, oder Gregorianiſchen Jahre von der nämlichen Anzahl wirklicher tropiſcher Jahre noch nicht um einen ganzen Tag differirt. Durch dieſe Einrichtung fallen die Aequinoctien und Solſtitien faſt immer auf dieſelben Tage eines jeden Gregorianiſchen Jahres, und die Jahreszeiten werden für immer den nämlichen Monaten entſprechen, wogegen ſie einen Kreislauf durch das ganze Jahr machen würden, wenn man ein anderes Rechnungsſyſtem befolgte, wie es wirklich der Fall war, ehe die Gregorianiſche Regel angenommen wurde.

632) Die Gregorianiſche Regel beſteht in Folgendem: — Die Jahre werden von der Geburt Chriſti an gezählt, in Gemäßheit einer chronologiſchen Annahme über die Zeit dieſes Ereigniſſes. Jedes Jahr, deſſen Zahl ſich nicht durch 4 theilen läßt, ohne daß ein Reſt übrig bleibt, beſteht aus 365 Tagen; jedes Jahr, deſſen Zahl durch 4 genau theilbar, aber durch 100 untheilbar iſt, hat 366 Tage; jedes Jahr, deſſen Zahl durch 100 theilbar, aber durch 400 untheilbar iſt, hat nur 365 Tage; und endlich jedes Jahr, deſſen Zahl durch 400 theilbar iſt, beſteht wieder aus 366 Tagen. Z. B. das Jahr 1833, das nicht durch 4 theilbar iſt, hat 365 Tage; 1836 dagegen hat 366 Tage; 1700, 1800 und 1900 haben jedes 365 Tage, aber 1600 und 2000 haben 366 Tage. Um zu ſehen, wie weit ſich dieſe Regel der Wahrheit nähert, wollen wir unterſuchen, wie viel Tage in 10000 Gregorianiſchen Jahren enthalten ſind, indem wir mit der Jahrszahl 1 anfangen. Nun iſt in 10000 die Anzahl der Zahlen, die nicht durch 4 theilbar ſind, $^3/_4$ von 10000, oder 7500; ebenſo wird die Anzahl derjenigen, die durch 100 theilbar, aber durch 400 nicht theilbar ſind, $^3/_4$ von 100, oder 75 ſeyn; ſo daß in den fraglichen 10000 Jahren, 7575 Jahre aus 365, und die übrigen 2425 aus 366 Tagen beſtehen, was zuſammen 3652425 Tage beträgt. Nach einem mittlern Durchſchnitte würde demnach jedes Jahr 365,2425 Tage enthalten. Der wirkliche Werth

des tropiſchen Jahres iſt aber (Art. 327) wenn man ihn in einen Decimalbruch verwandelt, 365,24224 Tage, ſo daß der Fehler der Gregorianiſchen Regel in 10000 Jahren, nach dem jezigen Werthe des tropiſchen Jahres, 2,6 Tage, oder 2 Tage 14 Stunden 24 Minuten beträgt, d. h. weniger als einen Tag in 3000 Jahren. Dieſes iſt für alle Zwecke des menſchlichen Lebens mehr als genügend, ausgenommen für diejenigen der Aſtronomie; aber der Aſtronom hat nicht zu fürchten, aus dieſer Urſache in einen Irrthum zu verfallen. Man könnte ſelbſt dieſen Fehler vermeiden, wenn man in der Gregorianiſchen Regel noch um einen Schritt weiter ginge, was die Erfinder derſelben vermuthlich nicht der Mühe werth hielten zu thun, indem man nämlich feſtſezte, daß diejenigen Jahre, die durch 4000 theilbar ſind, nur 365 Tage enthalten ſollen. Dadurch würden von der oben berechneten Anzahl von Tagen zwei ganze Tage abgehen, oder nach einem mittlern Durchſchnitte eigentlich 2,5 Tage, ſo daß hiernach 100000 Gregorianiſche Jahre 36524225 Tage enthalten würden, was von dem wirklichen Werthe von 100000 tropiſchen Jahren nach ihrer jezigen Größe nur um einen einzigen Tag abweicht.

633) Eine lange Strecke Weges könnte, obgleich auf eine weitläufigere und etwas unbequeme Weiſe, dennoch, ohne daß ein Irrthum entſtände, dadurch beſtimmt werden, daß man eine Reihe von Meilenſteinen in Zwiſchenräumen von ungleicher Länge errichtete, ſo daß z. B. jede vierte Meile um einen Fuß länger wäre, als die übrigen, oder, nach irgend einer andern beſtimmten Regel, wobei man nur Sorge tragen müßte, daß die Steine gehörig bezeichnet würden, damit kein Irrthum entſtehen könnte, und jeder Reiſende von dem Unterſchiede der Längen der Zwiſchenräume und von der Anordnung ihrer Aufeinanderfolge vollſtändig unterrichtet wäre. Auf ganz ähnliche Weiſe kann auch die Größe jedes beliebigen Zeitraums genau ausgedrückt werden dadurch, daß man angibt, in welchem Gregorianiſchen Jahre derſelbe anfängt, und in welchem er endigt, und zwar, wo er in jedem dieſer Jahre anfängt und endigt. Denn dieſe Angabe, verbunden mit der feſtgeſtellten Re-

gel, ſezt uns in den Stand, zu ſagen, wie viele ganze Jahre zu 365, und wie viele zu 366 Tagen gerechnet werden müſſen. Dieſe lezteren werden Schaltjahre genannt, und die überzähligen Tage, die dadurch in Rechnung kommen, heißen Schalttage.

634) Wenn die Gregorianiſche Regel, wie ſie oben feſtgeſtellt iſt, immer angenommen geweſen wäre, ſo würde nichts leichter ſeyn, als die Zahl der Tage auszurechnen, die zwiſchen dem Datum irgend eines hiſtoriſchen Ereigniſſes und der jezigen Zeit verfloſſen ſind. Aber dieſes iſt nicht der Fall, und man kann den Kalender, in Bezug auf Chronologie, oder auf die Berechnung alter Beobachtungen, mit einer Uhr vergleichen, die regelmäßig fortgeht, wenn man ſie ſich ſelbſt überläßt, die man aber zuweilen aufzuziehen vergißt, oder die, wenn ſie aufgezogen iſt, bald vor, bald zurück geſtellt wird, und zwar oftmals nur, um dadurch beſonderen Zwecken und Privatintereſſen zu dienen. So iſt es wenigſtens mit dem Römiſchen Kalender, von welchem der unſrige abſtammt, von Numa's Zeit an bis auf Julius Cäſar der Fall geweſen, indem man das Mondsjahr von 12 Monaten, oder 365 Tagen, um es mit dem Sonnenjahre, durch welches die Jahreszeiten beſtimmt werden, in Uebereinſtimmung zu bringen, nach Belieben vergrößerte, theils durch die willkührlichen Einſchaltungen der Prieſter, theils durch die Uſurpationen der Decemvirn und anderer Magiſtratsperſonen, bis die Verwirrung zulezt unauflöslich wurde. Dem Julius Cäſar, der hierbei von Soſigenes, einem ausgezeichneten Alexandriniſchen Aſtronomen und Mathematiker, unterſtüzt wurde, verdanken wir die ſchöne Einrichtung der Einſchiebung eines Schaltjahres von 366 Tagen nach drei gewöhnlichen Jahren von 365 Tagen. Dieſe wichtige Veränderung des Kalenders wurde eingeführt in dem 45ten Jahre vor Chriſti Geburt, welches das erſte regelmäßige Jahr war, das mit dem 1ten Januar anfing, als dem Tage des Neumondes, der unmittelbar auf das Winterſolſtitium des vorhergehenden Jahres folgte. Wir können uns von dem Zuſtande, in welchem ſich die Zeitrechnung vor dieſer Reform des Kalenders befand, einen Begriff machen

durch den Umſtand, daß es, um das neue Syſtem einzuführen, nothwendig war, zu verfügen, daß das vorhergehende Jahr (46 vor Chr. Geb.) aus 455 Tagen beſtehen ſollte, wodurch es auch den Beinamen „des Jahrs der Verwirrung“ erhielt.

635) Die Julianiſche Regel machte jedes vierte Jahr, ohne Ausnahme, zu einem Schaltjahre. Dieß iſt eine zu ſtarke Correction; ſie ſezt eine Länge des tropiſchen Jahres von $365^1/_4$ Tagen voraus, die zu groß iſt, und bringt demnach einen Fehler von 7 Tagen in 900 Jahren hervor, wie man durch eine Probe leicht findet. Auch fing man ſchon um das Jahr 1414 an, zu bemerken, daß die Aequinoctien ſich von dem 21ten März und 23ten September allmählig immer weiter entfernten, und ſcheinbar zu früh eintraten, ſtatt daß ſie beſtändig auf jene Tage hätten fallen müſſen, wenn das Julianiſche Jahr richtig geweſen wäre. Seit dieſer Zeit wurde eine neue und wirkliche Reform des Kalenders immer dringender gewünſcht, und endlich auch zugelaſſen. Die Umänderung, welche unter dem Pontificat Gregors des Dreizehnten geſchah, beſtand in der Weglaſſung von zehn nominellen Tagen nach dem 4ten Oktober 1582 (ſo daß der nächſtfolgende Tag der 15te, und nicht der 5te Oktober genannt wurde,) und in der Promulgation der ſchon oben erläuterten Regel für die zukünftige Anordnung des Kalenders. Dieſe Veränderung wurde ſogleich in allen katholiſchen Ländern angenommen, aber erſt weit ſpäter geſchah dieſes in den proteſtantiſchen. In England fand die „Umänderung des Styls,“ wie man es nannte, nach dem 2ten September 1752 ſtatt, indem man 11 nominelle Tage wegließ, ſo daß, während der lezte Tag des alten Styls der 2te hieß, der erſte des neuen Styls, nämlich der nächſtfolgende Tag, der 14te genannt wurde, und nicht der 3te. Durch dieſelbe geſezmäßige Verfügung welche 1752 das Gregorianiſche Jahr in England einführte, wurde auch das vorhergehende Jahr 1751 um ein volles Viertel abgekürzt. Vor dieſer Zeit nämlich fing das Jahr mit dem 25ten März an, und dem gemäß alſo auch das Jahr 1751; aber man ließ dieſes Jahr nicht ablaufen, ſondern verordnete, daß das nächſte Jahr 1752

mit dem 1ten Januar anfangen ſollte, und ſo auch jedes folgende Jahr. Rußland und Griechenland ſind jezt die einzigen Länder in Europa, in denen man noch den alten Styl beibehalten hat, und der Unterſchied des Datums dieſer Länder und desjenigen des übrigen Europas beträgt jezt (ſeit dem Anfang des gegenwärtigen Jahrhunderts) 12 Tage.

636) Es iſt für die Aſtronomie ein glücklicher Umſtand, daß die Verwirrung in den Daten und die unvereinbaren Widerſprüche, auf welche man bei der Feſtſezung hiſtoriſcher Ereigniſſe, ſelbſt bei den beſten Kenntniſſen, die wir über die alten Zeitrechnungen beſizen, nur zu oft ſtößt, auf alte, uns überlieferte Beobachtungen nur einen geringen Einfluß haben. Die aſtronomiſche Beobachtung irgend einer auffallenden und richtig bezeichneten Erſcheinung gibt uns in den meiſten Fällen hinreichende Mittel an die Hand, das wahre Datum derſelben ausfindig zu machen, ſobald uns chronologiſche Aufzeichnungen eine nur irgend leidliche Annäherung verſchaffen. Eine ſolche Beobachtung, weit entfernt, von den ungewiſſen und oft ſich widerſprechenden Daten, welche man bei der Vergleichung alter Autoritäten findet, abhängig zu ſeyn, dient vielmehr ſelbſt oft, eine chronologiſche Epoche auf die ſicherſte und überzeugendſte Weiſe feſtzuſezen. Merkwürdige Finſterniſſe z. B. können jezt, wo die Mondstheorie vollſtändig bekannt iſt, für mehrere Tauſende von Jahren zurück berechnet werden, ohne daß es möglich wäre, ſich in dem Zeitpunkte derſelben um einen Tag zu irren. Sobald nun die Nachricht von einer ſolchen Finſterniß mit der Erzählung, die ein alter Autor von irgend einem hiſtoriſchen Ereigniſſe gibt, in der Art verflochten iſt, daß dadurch die Identität der Finſterniß angezeigt, und der zwiſchen ihr und dem Ereigniſſe verfloſſene Zeitraum genau angegeben wird, ſo iſt hierdurch das Datum dieſes Ereigniſſes ausfindig gemacht und für immer feſtgeſtellt.*)

*) Man ſehe die merkwürdigen Rechnungen des Herrn Baily über die berühmte Sonnenfinſterniß, welche dem Kampfe zwiſchen den Königen von Medien und Lydien ein Ende machte, am 30. September des Jahres 610 vor Chriſti Gebnrt. Philos. Transact. 1817, Pag. 220. —

637) Nachdem auf ſolche Art die Zahl der Tage, die jedes Jahr enthält, beſtimmt war, mußte man zunächſt, um die Kenntniß der Zeit vollkommen zu machen, für die genaue Identificirung eines jeden einzelnen Tages Sorge tragen, was dadurch geſchah, daß man jedem einen bekannten und allgemein gebräuchlichen Namen beilegte. Da inzwiſchen die Zahl der Tage eines ganzen Jahres zu groß iſt, als daß das Gedächtniß beſtimmte Namen für einen jeden derſelben leicht behalten könnte, ſo haben alle Nationen das Bedürfniß gefühlt, das Jahr in mehrere Abſchnitte von einer geringern Ausdehnung zu zertheilen, einem jeden derſelben einen Namen zu geben, und die in ihm enthaltenen Tage durch Zahlen, oder durch irgend eine andere beſondere Benennung, zu bezeichnen. Man hat zu dieſem Behuf häufig den Mondsmonat angewendet, und einige Nationen haben ſogar eine auf den Mondslauf gegründete Zeitrechnung einer ſolchen, die ſich nach dem Sonnenlaufe richtet, überhaupt vorgezogen, wie es die Türken und Juden noch bis auf den heutigen Tag thun, die ihr Jahr aus 12 Mondsmonaten, oder 355 Tagen beſtehen laſſen.*) Die bei uns eingeführte Eintheilung des Jahres in zwölf ungleiche Monate iſt durchaus willkührlich, und gibt oftmals zu Verwirrung Anlaß, wegen der Zweideutigkeit, die zwiſchen dem Mondsmonate und dem Kalendermonate ſtattfindet. Den Schalttag hat man dem Februar zugetheilt, weil er der kürzeſte von allen Monaten iſt.

*) Der Metoniſche Cyclus, oder die von Meton, einem griechiſchen Mathematiker, entdeckte Thatſache, daß 19 Sonnenjahre gerade 235 ſynodiſche Mondsumläufe enthalten (was in der That äußerſt nahe der Fall iſt,) wurde mit Recht von den Griechen ſehr geſchätzt, weil daraus das Verhältniß zwiſchen den Sonnen- und Mondsjahren hervorging, und es wurden deßhalb dem Entdecker des Cyclus Ehrenbezeugungen zuerkannt.

Ueberſichtstafel der Elemente des Sonnenſyſtems.

Anm. Die Angaben für Veſta, Juno, Ceres und Pallas gelten für den 1ten Januar 1820; die übrigen für den 1ten Januar 1801.

Name des Planeten.	Mittl. Entf. v. d. Sonne, od. halbe große Axe.	Mittl. ſideriſche Umlaufszeit in mittleren Sonnentagen.	Excentricität in Theilen der halb. großen Axe.
Merkur	0,3870981	87,9692580	0,2055149
Venus	0,7233316	224,7007869	0,0068607
Erde	1,0000000	365,2563612	0,0167836
Mars	1,5236923	686,9796458	0,0933070
Veſta	2,3678700	1325,7431000	0,0891300
Juno	2,6690090	1592,6608000	0,2578480
Ceres	2,7672450	1681,3931000	0,0784390
Pallas	2,7728860	1686,5388000	0,2416480
Jupiter	5,2027760	4332,5848212	0,0481621
Saturn	9,5387861	10759,2198174	0,0561505
Uranus	19,1823900	30686,8208296	0,0466794

Name des Planeten.	Neigung der Bahn gegen die Ekliptik.	Länge des aufſteigenden Knotens.	Länge der Sonnennähe.
Merkur	7° 0′ 9,″1	45° 57′ 30,″9	74° 21′ 46,″9
Venus	3 23 28, 5	74 54 12, 9	128 43 53, 1
Erde	—	—	99 30 5, 0
Mars	1 51 6, 2	48 0 3, 5	332 23 56, 6
Veſta	7 8 9, 0	103 13 18, 2	249 33 24, 4
Juno	13 4 9, 7	171 7 40, 4	53 33 46, 0
Ceres	10 37 26, 2	80 41 24, 0	147 7 31, 5
Pallas	34 54 55, 0	172 39 26, 8	121 7 4, 3
Jupiter	1 18 51, 3	98 26 18, 9	11 8 34, 6
Saturn	2 29 35, 7	111 56 37, 4	89 9 29, 8
Uranus	0 46 28, 4	72 59 35, 3	167 31 16, 1

Name des Planeten.	Mittlere Länge für die Epoche.	Maſſen in Billiontheilen der Sonnenmaſſe.	Aequatorialdurchmeſſer, der der Sonne = 111,454.
Merkur	166° 0′ 48,″6	493628	0,398
Venus	11 33 3, 0	2463836	0,975
Erde	100 39 10, 2	2817409	1,000
Mars	64 22 55, 5	392735	0,517
Veſta	18 30 0, 4	—	—
Juno	200 16 19, 1	—	—
Ceres	123 16 11, 9	—	—
Pallas	108 24 57, 9	—	—
Jupiter	112 15 23, 0	953570222	10,860
Saturn	135 20 6, 5	284738000	9,987
Uranus	177 48 23, 0	55809812	4,332

Ueberſichtstafel der Elemente der Bahnen der Satelliten, in ſo weit ſolche bekannt ſind.

Anm. Die Entfernungen ſind in Aequatorialhalbmeſſern der Hauptplaneten ausgedrückt. Die Epoche iſt der 1te Januar 1801. Die Umlaufszeiten u. ſ. w. ſind in mittleren Sonnentagen ausgedrückt.

I. Der Mond.

Mittlere Entfernung von der Erde	$59,^{r}96435000$
Mittlere ſideriſche Umlaufszeit	$27,^{d}321661418$
Mittlere ſynodiſche Umlaufszeit	$29,^{d}530588715$
Excentricität der Bahn	0,054844200
Mittlere Umlaufszeit der Knoten	$6793,^{d}391080$
Mittlere Umlaufszeit des Apogeums	$3232,^{d}575343$
Mittlere Länge des Knotens f. d. Epoche ..	13° 53′ 17,″7
Mittlere Länge d. Perigeums f. d. Epoche	266 10 7, 5
Mittlere Neigung der Bahn	5 8 47, 9
Mittlere Länge des Mondes f. d. Epoche	118 17 8, 3
Maſſe des Mondes, die der Erde = 1 geſezt,	0,0125172
Durchmeſſer des Mondes in engl. Meilen	2160

II. Die Satelliten des Jupiter.

Sat.	Mittlere Entfernung.	Sideriſche Umlaufszeit.	Neigung der Bahn gegen die d. Jupiter.	Maſſen, die des Jupiter = 1000 000 000.
1.	6,04853	$1^d\ 18^h 28^m$	3° 5′ 30″	17328
2.	9,62347	3 13 14	Veränderl.	23235
3.	15,35024	7 3 43	Veränderl.	88497
4.	26,99835	16 16 32	2 58 48	42659

Die Excentricitäten der Bahnen des 1ten und 2ten Satelliten ſind unmerklich, bei dem 3ten und 4ten ſind ſie klein, aber in Folge der gegenſeitigen Störungen veränderlich.

III. Die Satelliten des Saturn.

Sat.	Mittlere Entfernung.	Sideriſche Umlaufszeit.	Excentricitäten und Neigungen.
1.	3,351	$0^d\ 22^h 38^m$	Die Bahnen der ſechs inneren Trabanten ſind faſt kreisförmig, und liegen ſehr nahe in der Ebene des Ringes. Die des ſiebenten iſt beträchtlich gegen die übrigen geneigt, und ihre Ebene fällt vielmehr näher mit der der Ekliptik zuſammen.
2.	4,300	1 8 53	
3.	5,284	1 21 18	
4.	6,819	2 17 45	
5.	9,524	4 12 25	
6.	22,081	15 22 41	
7.	64,359	79 7 55	

IV. Die Satelliten des Uranus.

Sat.	Mittlere Entfernung.	Sideriſche Umlaufszeit.	Neigung gegen die Ekliptik.
1. ?	13,120	$5^d 21^h 25^m\ 0^s$	Die Bahnen dieſ. Satelliten ſind um etwa 78°58′ geg. die Ekliptik geneigt, u. ihre Bewegung iſt rückläufig. Die Umlaufszeit. des 2. u. 4. bedürfen einer kleinen Correction. Die Bahnen ſcheinen nahe kreisförmig zu ſeyn.
2.	17,022	8 16 56 5	
3. ?	19,845	10 23 4 0	
4.	22,752	13 11 8 59	
5. ?	45,507	38 1 48 0	
6. ?	91,008	107 16 40 0	

Regiſter.

Bemerkung. Die den Artikeln beigeſezten Zahlen ſind die Seitenzahlen.

Abirrung des Lichtes, 201.

Abſehenslinie, 83.

Aequatoreal oder parallactiſches Inſtrument, 106.

Aequinoctien, Präceſſion derſelben, 190. Uranographiſche Wirkung hiervon, 190.

Anomaliſtiſches Jahr, 234.

Apſiden, Erklärung ihrer Bewegung, 425.

Aſtronomie, allgemeine Begriffe, 1 — 3.

Aſtronomiſche Inſtrumente, 64. Praktiſche Schwierigkeiten bei der Verfertigung derſelben, 65. Beobachtungen damit im Allgemeinen, 67.

Atmoſphäre, 19. Brechende Kraft derſelben, 21. Betrag dieſer Kraft und Geſez ihrer Veränderung, 25. Zurückwerfende Kraft derſelben, 26.

Attraction, magnetiſche und electriſche, 272; von Kugeln, 274. Sonnenattraction, 276.

Azimuthal- und Höheninſtrument, 107.

Barometriſche Meſſung der Höhen, 175.

Bewegung, parallactiſche, 7. Erſcheinungen, die von der täglichen Bewegung herrühren, 8. Scheinbare tägliche Bewegung der Himmelskörper, 36. Wirkliche und ſcheinbare Bewegung der Erde, 194. Bewegung von Körpern, 269. Geſetze der elliptiſchen Bewegung, 275. Bewegung der Erde um die Sonne in Gemäßheit dieſer Geſetze, 219, 275.

Biot, ſeine Luftſchifffahrt, 17.

Bode's Geſetz der Planetenentfernungen, 321.

Borda's Erfindung des Princips der Repetition der Winkelmeſſungen, 113.

Breite, geographiſche, 55. Länge eines Breitengrades, 122. Gemeſſene Längen verſchiedener Breitengrade, 124.

Centrifugalkraft, 135, 270.

Chronometer, 80.

Clairaut, 143, 430.

Collimationslinie, 83.

Collimator, ſchwimmender, erfunden von Capitain Kater, 101

Coordinirte Kreiſe, 104.

Copernikus, Erklärung der ſcheinbaren Bewegung der Sonne, 219.

Dämmerung, verurſacht durch die atmoſphäriſche Reflexion des Sonnen- und Mondlichtes, 26.

Datum, aſtronomiſche Mittel zur Feſtſtellung deſſelben, 491.

Depreſſionsſector, 9.

Doppelſterne ſ. Fixſterne.

Ebbe und Fluth, phyſiſche Urſache dieſer Erſcheinung, 392.

Ekliptik, 184. Ihre Lage am Himmel, 186. Ihre Pole und Schiefe, 187. Zeichen derſelben, 232. Säcularveränderung der Lage ihrer Ebene, 383.

Elliptiſche Bewegung, Geſetze derſelben, 210.

Erde. Sie iſt ein Hauptgegenſtand der Betrachtung des Aſtronomen, 2. Meinung der Alten über dieſelbe, 3. Erklärung der wahren und ſcheinbaren Bewegung derſelben, 5. Ihre Geſtalt und Größe, 7. Ihr ſcheinbarer Durchmeſſer, 9. Erklärung ihrer kreisförmigen Geſtalt, 10. Wirkung der Krümmung derſelben, 13. Tägliche Umdrehung derſelben, 37. Ihre Pole, 40. Wahre Geſtalt derſelben, 119. Mittel zur genauen Beſtimmung der Dimenſionen der ganzen Erde, oder eines Theils derſelben, 120. Meridiandurchſchnitt derſelben, 126. Genaue Dimenſionen derſelben, 128. Ihre Gleichgewichtsform, modificirt durch die Centrifugalkraft, 133. Veränderlichkeit der Schwerkraft auf ihrer Oberfläche, 137. Wirkungen der Rotation der Erde, 141. Correction der auf der Erdoberfläche gemeſſenen Winkel wegen ihrer Kugelgeſtalt, 168. Coniſche Bewegung der Erdaxe, 193. Nutation der Erdaxe, 194. Parallele Lage der Erdaxe bei ihrer Bewegung um die Sonne, 221. Verhältniß der Maſſe der Erde zu der der Sonne, 338.

Erklärungen verſchiedener in der Aſtronomie gebrauchten Ausdrücke, 52—55.

Excentricität der Planetenbahnen, ihre Veränderung, 431.

Fixſterne, ihre Entfernung von der Erde, 48, 446. Sternzeit, die nach der täglichen Bewegung derſelben gerechnet wird, 59. Sichtbarkeit derſelben bei Tage, 62. Ihre

relative Größe und unendliche Anzahl, 440. Ihre Vertheilung am Himmel, 443. Sie ſind höchſt wahrſcheinlich Mittelpunkte von Planetenſyſtemen, 448. Periodiſche oder veränderliche Sterne, 449. Temporäre Sterne, 452. Doppelſterne, 454. Zweifache Sterne, 460. Elliptiſche Bahnen der leztern, 462. Ihre Farben, 466. Eigene Bewegung der Fixſterne, 467. Sternhaufen, 471. Kugelförmige Sternhaufen, 472. Unregelmäßige Sternhaufen, 476. Neblige Fixſterne, 479.

Galiläus entdeckt die Jupiterstrabanten, 345.

Gay-Luſſac, deſſen Luftſchifffahrt, 17.

Geographie, Abriß derſelben, in ſo weit ſie als ein Theil der Aſtronomie zu betrachten iſt, 117.

Geographiſche Breiten, Beſtimmung derſelben, 149.

Gleichungen für Präceſſion und Nutation, 196.

Gravitation ſ. Schwere.

Hadley's Sextant, 110.

Halley entdeckt die Säcularbeſchleunigung der mittlern Bewegung des Mondes, 417.

Harding, Entdecker der Juno, 321.

Herſchel, Sir William, deſſen Anſichten über die phyſiſche Beſchaffenheit der Sonne, 237.

Himmelskarten, 176. Verfertigung derſelben durch Beobachtung der geraden Aufſteigung und Abweichung, 177.

Himmelskörper, Eintheilung derſelben in feſte und wandelnde, 181. Längen und Breiten derſelben, 188.

Himmelskugel, 43. Projectionen derſelben, 170.

Horizont, Depreſſion deſſelben, 12. Scheinbarer und wahrer, 50.

Jahr, tropiſches und anomaliſtiſches, 233, 234. Das tropiſche Jahr iſt das bürgerliche Maaß der Zeit, 484. Sideriſches Jahr, 186, 485.

Jahrszeiten, Erklärung derſelben, 221.

Jupiter, deſſen Streifen, 325. Satelliten deſſelben, 339.

Kalender, 484. Gregorianiſcher, 486. Julianiſcher, 489.

Karten, ihre Conſtruction, 166. Projectionen, die dabei beſonders gebräuchlich ſind, 170. Orthographiſche, ſtereographiſche und Mercator's Projection, 171.

Kater's ſchwimmender Collimator, 101.

Kepler, bewies zuerſt die elliptiſche Geſtalt der Erdbahn, 211. Seine Geſetze und deren Erklärung, 305.

Knoten, ihre Bewegung, 376.

Kometen, ihre Zahl, 350. Ihre Schweiſe, 351. Ihre Beſchaffenheit, 352. Ihre Bahnen, 355. Vorhergeſagte Rückkehr derſelben; der Halley'ſche Komet, 357; der Encke'ſche, 360; der Biela'ſche, 361. Dimenſionen der Kometen, 363.

Körper, Wirkung der Erdattraction auf dieſelben, 142. Bewegung geworfener Körper, 269. Krummlinige Bahn derſelben, 270. Geſetz zur Beſtimmung der Geſchwindigkeit dieſer Bewegung, 271. Problem der drei Körper, 368.

Lalande, ſeine Ideen über die Sonnenflecke, 237.

Längen, geographiſche, ihre Beſtimmung durch aſtronomiſche Beobachtungen, 151. Längenunterſchiede, durch Chronometer gefunden, 154. Beſtimmung derſelben durch telegraphiſche Signale, 157.

Laplace, erklärt die Säcularbeſchleunigung des Mondes, 418.

Licht, Aberration deſſelben, 201. Uranographiſche Wirkung hiervon, 202. Tägliche Aberration, 220. Geſchwindigkeit des Lichts, durch die Verfinſterungen der Jupiterstrabanten bewieſen, 346. Lichtſtrahlenbrechung, 21.

Luft, 18. Mechaniſche Geſetze, nach denen ſich ihre Dilatation und Compreſſion richtet; Verdünnung und Dichtigkeit derſelben, 20. Ihre Kraft, den Lichtſtrahl zu brechen, 22. Dieſe Kraft wird auch durch die Feuchtigkeit der Luft modificirt, 24.

Maclaurin, 143.

Mars, Planet, 324.

Mauerkreis, 91.

Mayer, Tobias, Erfindung des Princips der Repetition der Winkelmeſſungen, 113. Deſſen Sternkatalog, 464.

Meer, Wirkungen deſſelben auf das Land, 134.

Mercator's Projection der Kugelfläche, 172.

Meridiankreis zur Beſtimmung der geraden Aufſteigungen und Polardiſtanzen der Himmelskörper, 96.

Mikroſkop, zuſammengeſeztes, 87.

Milchſtraße, 183, 443.

Mittagsfernrohr, 82.

Mittagslinie, 54.

Monatliche Gleichung, 336.

Mond, ſein ſideriſcher Umlauf, 244. Scheinbarer Durchmeſſer, 245. Parallaxe, Entfernung und wirklicher Durchmeſſer, 245. Seine Bahn iſt, wie die der Sonne, elliptiſch, aber hat eine weit beträchtlichere Excentricität; erſte genäherte Kenntniß der Bahn, 246. Bewegung der Monds-

knoten, 247. Vorübergänge des Mondes vor Sternen und vor der Sonne, 249. Synodiſcher Umlauf deſſelben, 257. Mondsfinſterniſſe, 258. Umlauf der Apſiden der Mondsbahn, 262. Phyſiſche Beſchaffenheit des Mondes, 263. Seine Berge und Atmoſphäre, 264. Rotation und Libration deſſelben, 266. Abnahme der terreſtriſchen Schwere in der Entfernung des Mondes von der Erde, 272. Seine Schwere gegen die Erde und gegen die Sonne, 337. Seine Bewegung wird durch die Anziehung der Sonne geſtört, 416. Beſchleunigung ſeiner mittlern Bewegung, erklärt von Laplace, 417.

Nachtgleichen ſ. Aequinoctien.

Nadir, 53.

Nebelflecke, Sir W. Herſchel's Entdeckungen derſelben, 475. Auflösbare, 477. Ringförmige, 479. Planetenartige, 480.

Nebelſterne, 479.

Neigung der Bahnen, ihre Veränderung, 381.

Newton, deſſen Geſez der allgemeinen Schwere, 273.

Nutation, ihre phyſiſchen Urſachen, 389.

Olbers, Entdecker der Pallas und Veſta, 321.

Parallaxe, 47.

Paſſageninſtrument, 82.

Paſſatwinde, ihre Erklärung, 144. Ausgleichung derſelben, 147.

Pendel, 140. Pendeluhren, 80.

Piazzi, Entdecker der Ceres, 321.

Planeten, 282. Scheinbare Bewegung derſelben, 283. Ihr Stillſtehen und Zurückgehen, 284. Die Sonne iſt der natürliche Mittelpunkt ihrer Bewegung, 286. Ihre ſcheinbaren Durchmeſſer und Entfernungen von der Sonne, 287. Bewegungen der untern Planeten, ihre Vorübergänge vor der Sonne, 289. Elongationen derſelben, 291. Ihre ſideriſchen und ſynodiſchen Umläufe, 293. Phaſen des Merkur und Mars, 296. Vorübergänge der Venus vor der Sonne, 297. Die obern Planeten, 301. Ihre Entfernungen und Umläufe, 302. Methode zur Beſtimmung ihrer ſideriſchen Umläufe und Entfernungen, 303. Elliptiſche Elemente der Planetenbahnen, 307. Heliocentriſche und geocentriſche Oerter der Planeten, 315. Die vier Ultrazodiakal-Planeten, 321. Phyſiſche Eigenthümlichkeiten und wahrſcheinliche Beſchaffenheit der verſchiedenen Planeten, 322. Ihre ſcheinbaren und wirklichen Durchmeſſer, 325. Ihre mitt-

lern Umlaufszeiten ſind unveränderlich, 421. Beſtimmung der Maſſen der Planeten, wenn ſie Satelliten haben, 338. Dieſelbe Beſtimmung unabhängig von den Satelliten, 436.

Polar= und Horizontal=Punkte, 95.

Polarſtern, 40. Seine Lage, 93.

Präceſſion der Nachtgleichen, 190. Ihre phyſiſchen Urſachen, 384.

Queckſilber, wirft unter allen bekannten Flüſſigkeiten das Licht am ſtärkſten zurück, 95.

Reflexionskreis, 113.

Reflexionswinkel, iſt gleich dem Incidenzwinkel, 95.

Refraction, atmoſphäriſche, 21. Ihre Wirkung beſteht darin, alle Himmelskörper höher über den Horizont zu erheben, als ſie wirklich ſtehen, 23. Betrag derſelben und Geſetz ihrer Veränderung, 25. Terreſtriſche Refraction, 29. Wirkung der Refraction am Horizonte, 29.

Repetition der Winkelmeſſungen, Erfindung des Princips derſelben durch Borda und Mayer, 113.

Sanduhren, 80.

Satelliten, 335. Ihre Bewegungen um die Hauptplaneten ſind denen der leztern um die Sonne ähnlich, 338. Jupitersſatelliten, 339. Deren Maſſen, 344, 580. Saturnsſatelliten, 347. Uranusſatelliten, 348.

Saturn, ſeine Ringe, 327. Seine Satelliten, 347.

Schiefe der Ekliptik, 187.

Schwere, ihre Veränderlichkeit auf der Erdoberfläche, 137. Statiſche Meſſung derſelben, 138. Dynamiſche Meſſung derſelben, 140. Terreſtriſche Schwere, 269. Abnahme derſelben in der Entfernung des Mondes, 272. Geſez der allgemeinen Schwere, 273. Schwere auf der Sonne, 277.

Sextant, Hadley'ſcher, 110. Princip, worauf ſeine Conſtruction beruht, 111.

Sirius, deſſen wirklicher Glanz, 448.

Solſtitien, 187.

Sonne, Ungleichförmigkeit ihrer ſcheinbaren Bewegung, 208. Ihr ſcheinbarer Durchmeſſer iſt ebenfalls veränderlich, 208. Ihre Bahn iſt nicht kreisförmig, ſondern elliptiſch, 209. Veränderlichkeit ihrer Entfernung, 210. Ihre ſcheinbare jährliche Bewegung, 212. Parallaxe derſelben, 216. Entfernung, Größe und Rotation derſelben, 217. Mittlere und wahre Länge derſelben, 229. Mittelpunktsgleichung, 230. Phyſiſche Beſchaffenheit der Sonne, 235. Ihre

Flecke, 237. Sonnenfinſterniſſe, 249. Maſſe und Dichtigkeit der Sonne, 277. Schwerkraft auf ihrer Oberfläche, 278. Störender Einfluß der Sonne auf die Bewegung des Mondes, 279. Sonnenſyſtem, 282.

Sterne ſ. Fixſterne.

Sternhaufen, 471. Kugelförmige, 472. Unregelmäßige, 476.

Sternzeit, gerechnet nach der täglichen Bewegung der Fixſterne, 59.

Störungen, im Allgemeinen, 366. Störungen der Planetenbahnen, 398.

Strahlenbrechung ſ. Refraction.

Tag. Der Sonnentag iſt das bürgerliche Maaß der Zeit, 484. Sterntag 485.

Tägliche oder geocentriſche Parallaxe, 213.

Teleskop, 88. Es iſt die Quelle aller Genauigkeit der neuern Aſtronomie, 89. Meſſungen von Declinationsunterſchieden mit Hülfe deſſelben, 90.

Terreſtriſche Strahlenbrechung, 29.

Theodolith, 109.

Thierkreis, 184. Zeichen deſſelben, 232.

Trabanten ſ. Satelliten.

Trigonometriſche Aufnahme, 166.

Tropiſches Jahr, 233.

Uranographie, 176. Uranographiſche Probleme, 204.

Uranus, Planet, 333. Seine Satelliten, 348.

Urſache und Wirkung, 268.

Venus, Lichtgeſtalten derſelben, 296. Ihre Vorübergänge vor der Sonne, 297. Wirklicher und ſcheinbarer Durchmeſſer derſelben, 323.

Veränderungen der Planetenelemente, periodiſche und ſäculare, 400.

Vorrücken der Nachtgleichen, ſ. Präceſſion.

Waſſeruhren, 80.

Waſſerwaage, Beſchreibung und Gebrauch derſelben, 97.

Winkel, Meſſung derſelben, 85. Der Einfallswinkel iſt dem Ausfallswinkel gleich, 95.

Zeichen des Thierkreiſes oder der Ekliptik, 232.

Zeit, Meſſung derſelben, 79. Maaße für ſie, 484.

Zenith, 53. Zenithſector, 109.

Zodiakallicht, 483.

Zodiakus, 184.

Druckfehler und Verbeſſerungen.

(Ganz augenfällige Druckfehler ſind nicht mit aufgeführt.)

Seite 13. Z. 8 v. u. ſtatt Vaſen leſe man Baſen.
— 21. - 9 v. u. iſt das Komma hinter Orte zu ſtreichen.
— 23. - 8 v. o. ſtatt SAC l. m. SAC′.
— 26. - 15 v. u. ſtatt unterdrückt l. m. nicht aufgefangen.
— 28. Z. 11 v. o. ſtatt jedem l. m. jedem, ihnen.
— 30. - 9 v. u. ſtatt beträchtlichen l. m. beträchtlich.
— 31. iſt die Seitenzahl unrichtig. Daſelbſt Z. 3 v. o. ſtatt Geradewohl l. m. Gerathewohl; auch iſt das Komma hinter Luft zu ſtreichen u. daſſelbe hinter Wolken zu ſetzen. Ferner Z. 16. v. o. ſtatt herumſchauen l. m. herum ſchauen.
— 32. Z. 7 v. o. ſtatt gemahlt l. m. gemalt.
— 35. - 17 v. u. ſind die Worte wird alſo hinter das Wort haben zu ſetzen.
— 41. Z. 6 v. o. ſtatt einen verſchiedenen Stand l. m. eine verſchiedene Stellung.
— 55. Z. 19 v. o. ſtatt 0^0 l. m. von 0^0.
— 56. - 8 v. u. ſtatt Länge l. m. Länder.
— 59. - 14 v. u. ſtatt Beſchreibungen l. m. Erklärungen.
— 60. Z. 17 u. 18. v. o. ſtatt Y iſt zu ſetzen ♈.
— 65. - 10 v. u. iſt hinter Kunſt das Zeichen = wegzulöſchen.
— 67. - 3 v. o. ſtatt von l. m. vor.
— 67. - 9 v. u. iſt hinter Undeutlichkeit ein Komma zu ſetzen.
— 67. Z. 1 v. u. ſtatt entſpringen l. m. entſpringt.
— 73. - 10 v. o. iſt das Komma hinter Abweichung zu ſtreichen.
— 80. Z. 1 v. u. ſtatt Kenntniſſe l. m. Kenntniß.

Nach Seite 80 iſt die Paginirung von 16 Seiten irrig. Statt 97 ... 112 iſt zu leſen 81 ... 96.

Seite 82. Z. 2 v. u. ſtatt feine l. m. ſeine.
— 87. - 12 v. o. ſtatt ſeinen l. m. feinen.
— 119. - 7 v. o. ſtatt alliptiſch l. m. elliptiſch.
— 119. - 1 v. u. ſtatt im Stande l. m. nicht im Stande.
— 123. - 6 v. o. ſtatt vermindert l. m. verändert.
— 124. - 14 v. o. iſt hinter beſchrieben das Klammerzeichen) zu ſetzen.

Seite 124. Z. 4 v. u. ſtatt Londamine l. m. Condamine.
— 127. - 20 v. p. ſtatt Fz l. m. Ez.
— 129. - 2 v. o. ſtatt 800 l. m. 8000.
— 137. - 19 v. o. ſtatt Sinns l. m. Sinus.
— 143. - 6 und Z. 2 v. u. ſtatt Wendelkreiſe l. m. Wendekreiſe.
— 187. Z. 9 v. u. ſtatt Sommerwenden l. m. Sonnenwenden.
— 188. Z. 15 v. o. ſtatt die l. m. dem.
— 189. - 19 v. o. ſtatt Dieſes l. m. Dieſer.
— 195. - 2 v. o. ſtatt 19 + 50,″ l. m. 19 × 50″
— 195. - 3 v. o. ſtatt Durchmeſſer l. m. Halbmeſſer.
— 196. - 21 v. o. ſtatt einem l. m. einen.
— 200. - 5 v. u. ſtatt Hornhut l. m. Hornhaut.
— 204. - 14 v. o. ſtatt ſeiner l. m. einer.
-- 205. - 10 v. o. ſtatt verfahren l. m. erfahren.
-- 206. - 22 v. o. ſtatt wenn l. m. wenn man.
-- 207. - 3 v. o. ſtatt praktiſchen l. m. praktiſche.
-- 208. - 12 v. u. ſtatt 32° l. m. 32′; ſtatt 31, l. m. 31′
-- 213. - 13 v. o. ſtatt Fig. 4. l. m. Fig. 43.
-- 234. - 1 v. u. ſtatt kleinerer l. m. kleiner.
-- 235. - 7 v. u. ſtatt Fig. 21. l. m. Fig. 1.
-- 237. - 18 v. u. ſtatt dunkeln l. m. dunkle.
-- 245. - 3 v. u. ſtatt CCS l. m. CAS.
-- 246. - 7 v. o. ſtatt 0204 l. m. 0,0204.
-- 248. - 13 v. o. ſtatt Den l. m. Dem.
-- 262. - 11 v. u. ſtatt Erde l. m. Ebene.
-- 263. - 6 v. u. ſtatt Vorragungen l. m. als Vorragungen.
-- 300. Z. 17 v. u. ſtatt Elongation l. m. Elongationen.
— 301. - 9 v. u. ſtatt plumbes l. m. plumpes.
— 304. - 6 v. o. ſtatt ausgezeichnet l. m. aufgezeichnet.
-- 321. Z. 1 v. o. ſtatt im l. m. in.
-- 332. - 10 v. o. ſtatt die l. m. durch die.
-- 337. - 1 v. o. ſtatt Geſeze l. m. Geſetze. Jene Schreibart iſt, vom neunten Capitel an bis zu Ende, in dieſem und ähnlichen Wörtern noch öfter zu verbeſſern.
-- 337. Z. 6 v. u. im Text, ſtatt nummeriſche l. m. numeriſche. Auch dieſer Druckfehler iſt in der Folge noch öfter zu verbeſſern.
-- 352. Z. 17 v. o. ſtatt Wiederſtand l. m. Widerſtand. Ebenfalls noch einigemale zu verbeſſern.
-- 356. Z. 21 v. o. ſtatt beſieht l. m. beſteht.
-- 365. - 4 v. o. ſtatt Schüzung l. m. Schätzung.
-- 367. - 7 v. o. iſt hinter Hauptplaneten ein Komma zu ſetzen.
-- 369. - 1 v. u. ſtatt Itenſitäten l. m. Intenſitäten.
-- 371. - 14 v. u. ſtatt 585 l. m. 385.
-- 372. - 9 v. o. ſtatt bezeichnen l. m. bezeichne.

Seite 375. Z. 15 v. o. ſtatt Voranſchlagung l. m. Veranſchlagung.
-- 381. - 15 v. o. iſt hinter Punkte ein Komma zu ſetzen.
-- 390. - 7 v. o. ſtatt Conficienten l. m. Coefficienten.
-- 394. Z. 6 v. o. ſtatt um l. m. und.
-- 431. - 5 v. o. ſtatt Wirkung l. m. Wirkung der Tangentialkraft.
-- 442. - 9 v. o. ſtatt naturhiſtoriſchen l. m. naturhiſtoriſchem.
-- 442. - 4 v. u. im Text, ſtatt den l. m. dem.
-- 445. - 16 v. o. ſtatt Dreicke l. m. Dreiecke.
-- 445. - 6 v. u. ſtatt Erdbahnen l. m. Erdbahn.
-- 465. - 4 v. u. ſtatt unerträglich l. m. unverträglich.
-- 479. - 1 v. u. ſtatt bekränzt l. m. begränzt.
-- 484. - 4 v. u. ſtatt Incomenſurabilität l. m. Incommenſurabilität.
-- 488. Z. 12 v. u. iſt hinter oder das Komma zu ſtreichen.
-- 489. - 19 v. u. ſtatt 365 l. m. 355.

Fig. 1.

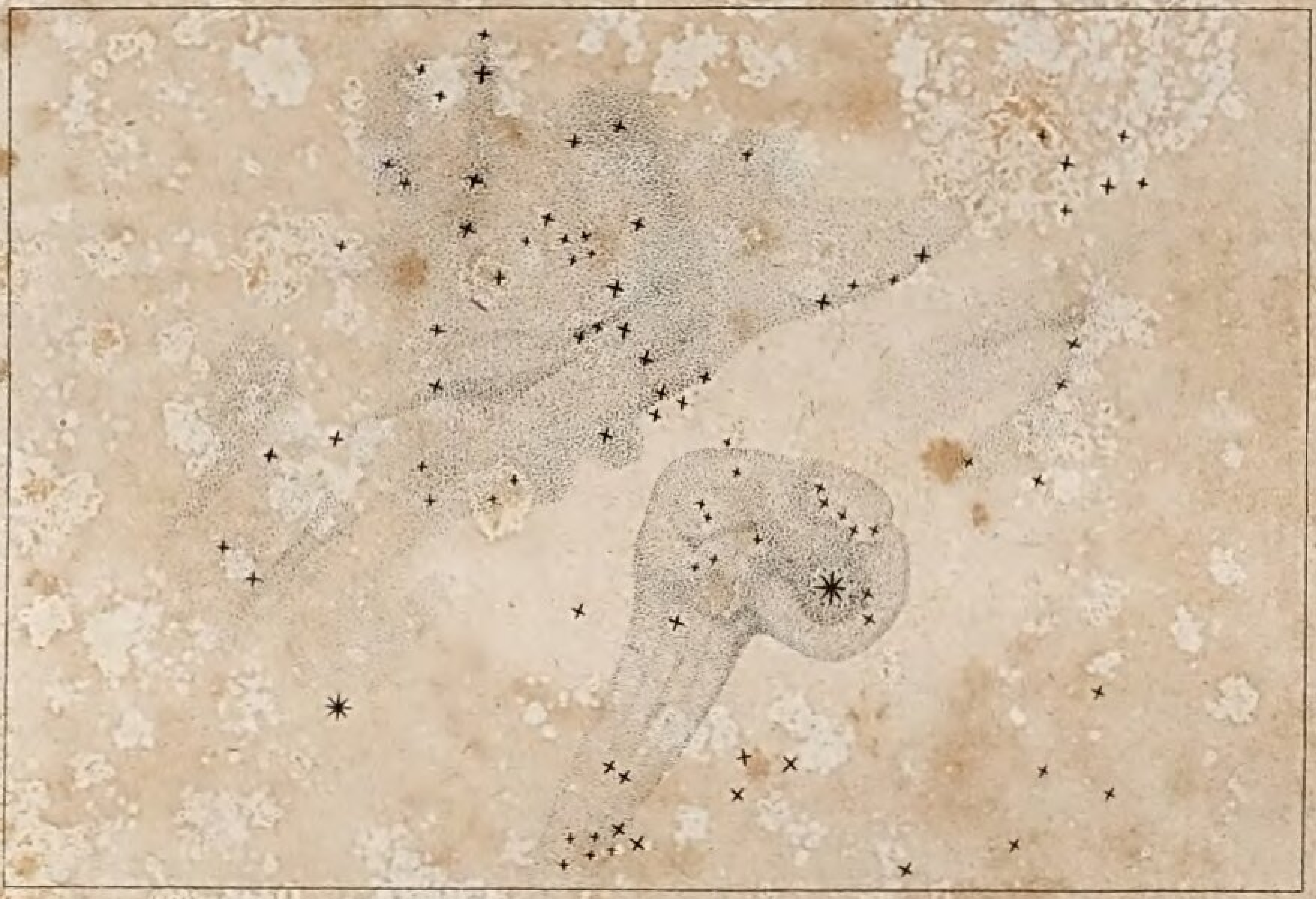


Fig. 2.

Fig. 3.

Pl. 1.

Fig. 1.

Fig. 2.

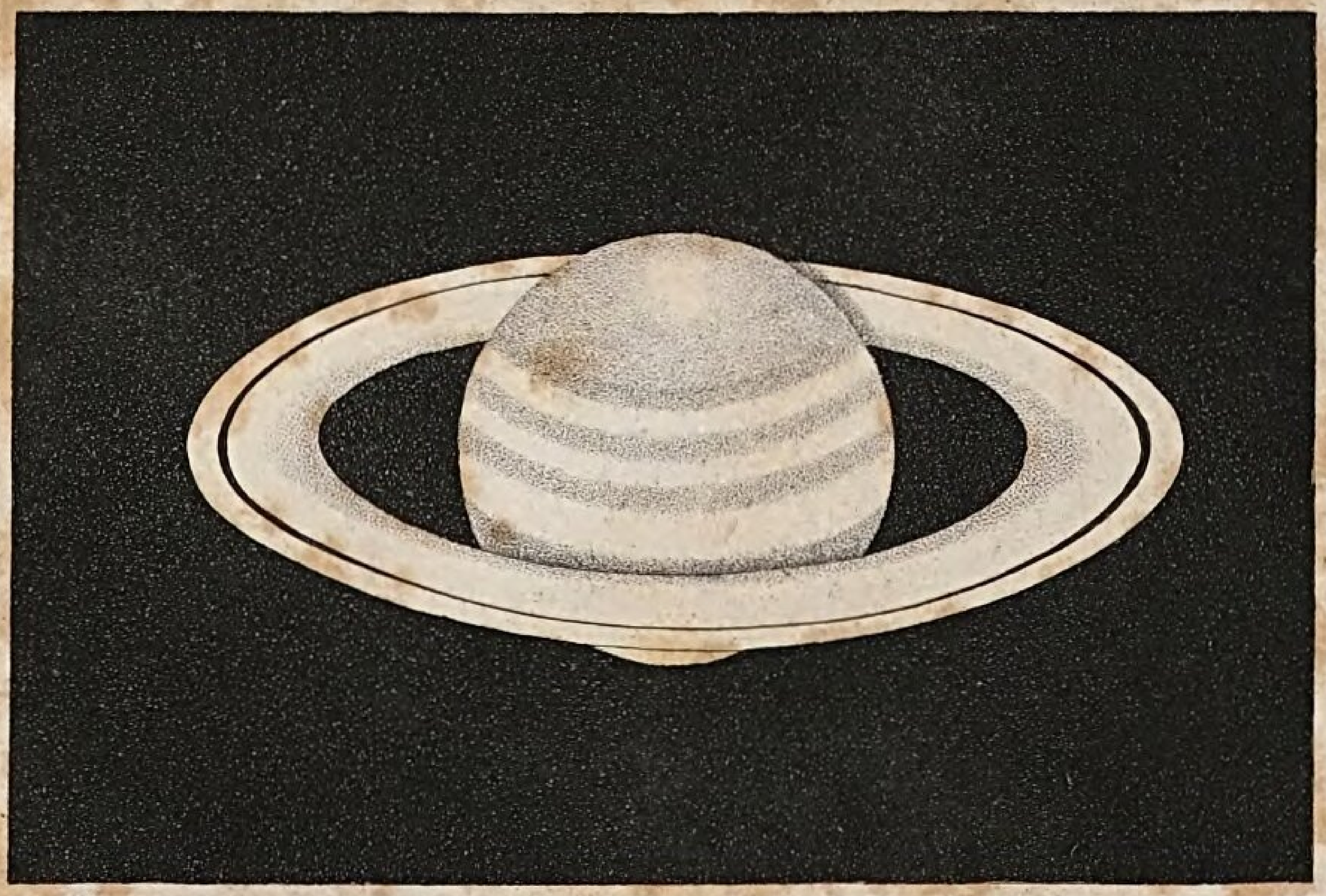


Fig. 3.

Pl. 2.

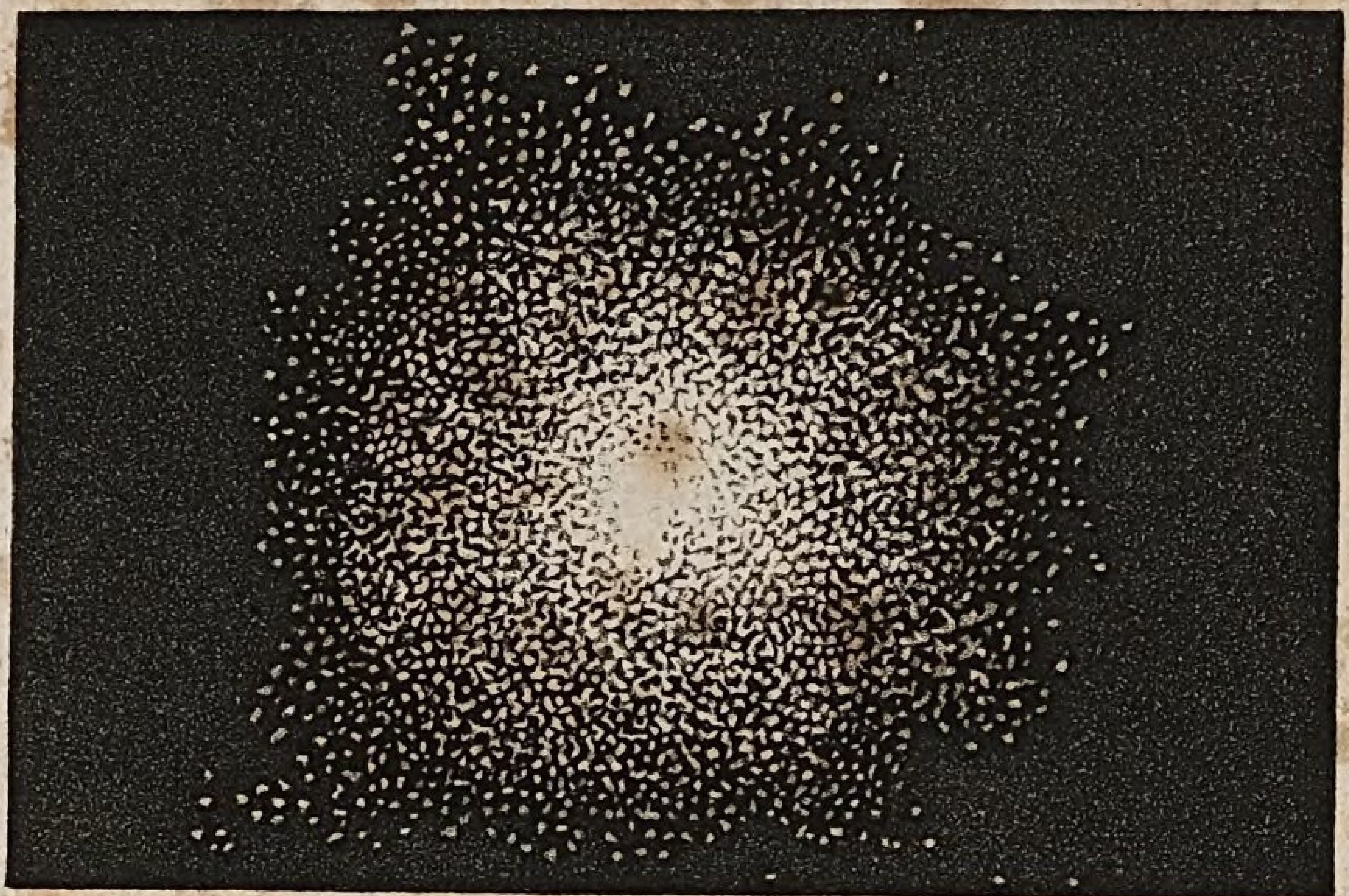


Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Taf. I. zu Herschel's Astronomie.

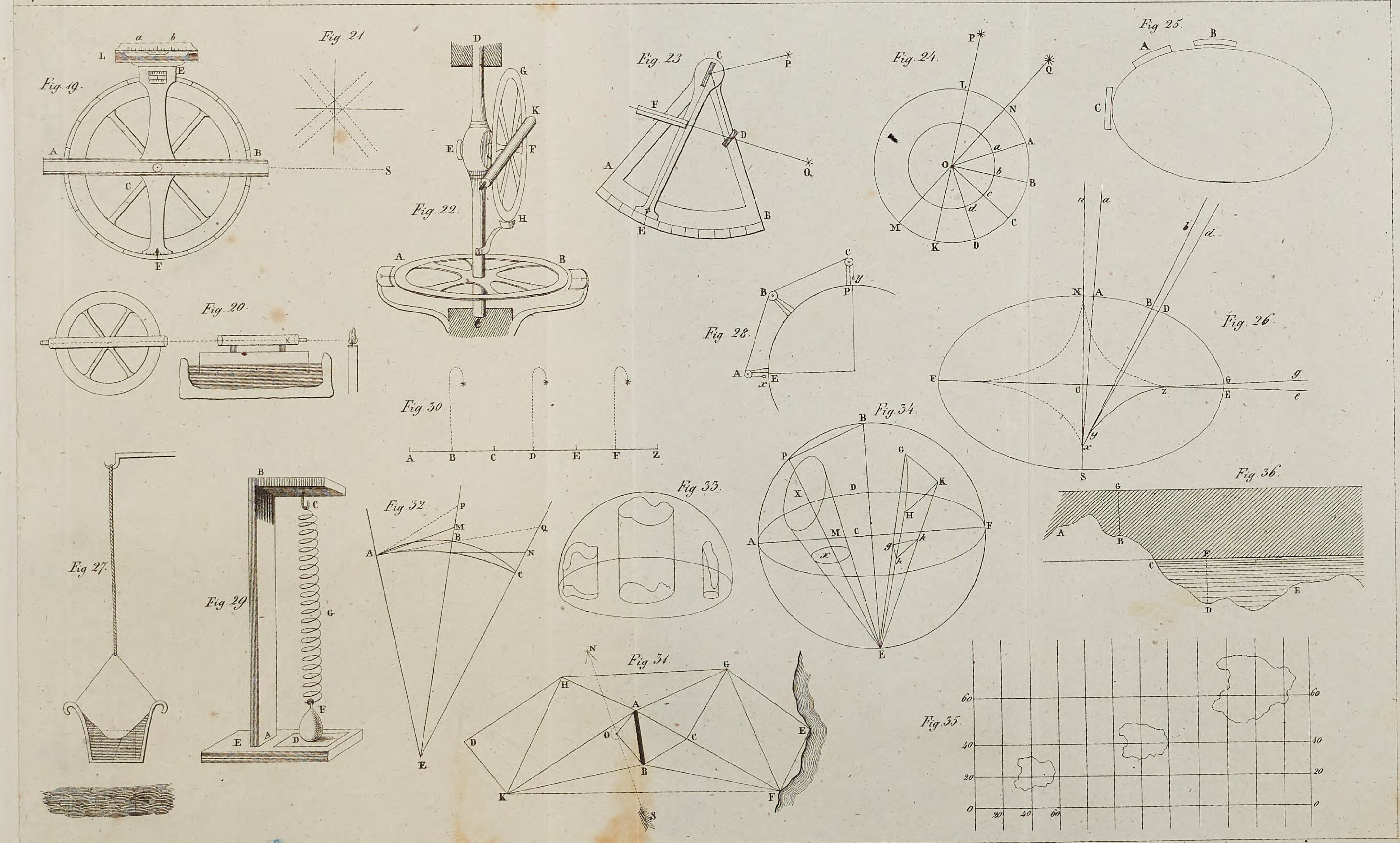


Fig. 19.
L a b E A B C S F
Fig. 20.
Fig. 21.
Fig. 22.
D G K E F H A B
Fig. 23.
C P F D A O E B
Fig. 24.
P L Q N A a O b B c d M K D C
Fig. 25.
A B C
Fig. 26.
n a b d N A B D F C z G E g e y x S
Fig. 27.
Fig. 28.
C y B P A E x
Fig. 29.
B C G F E A D
Fig. 30.
A B C D E F Z
Fig. 31.
N G H A O C D E B K F S
Fig. 32.
P M Q B A N C E
Fig. 33.
Fig. 34.
B P G K X D H A M C F k g h x E
Fig. 35.
60 40 20 0 20 40 60
Fig. 36.
G A B F C E D

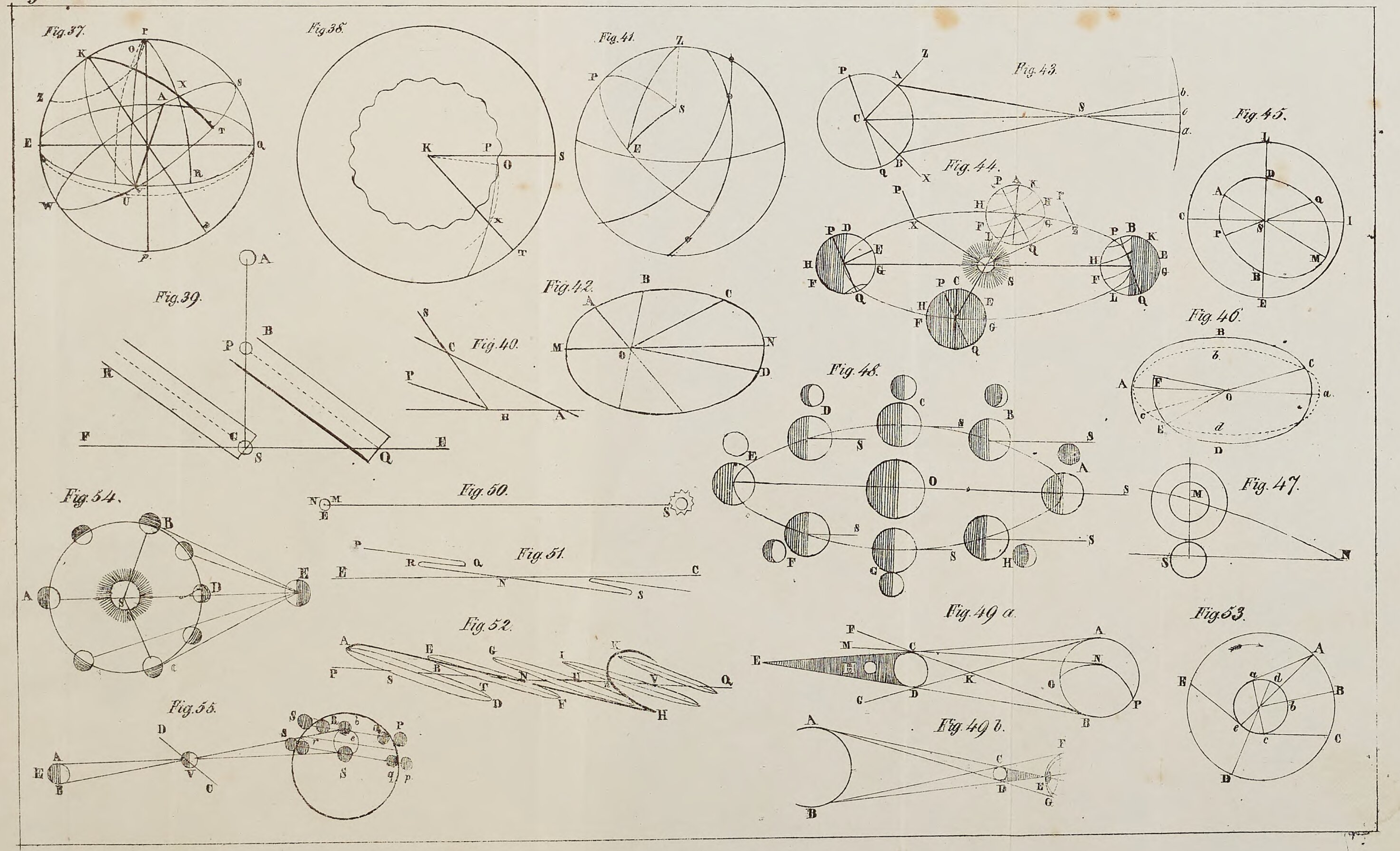
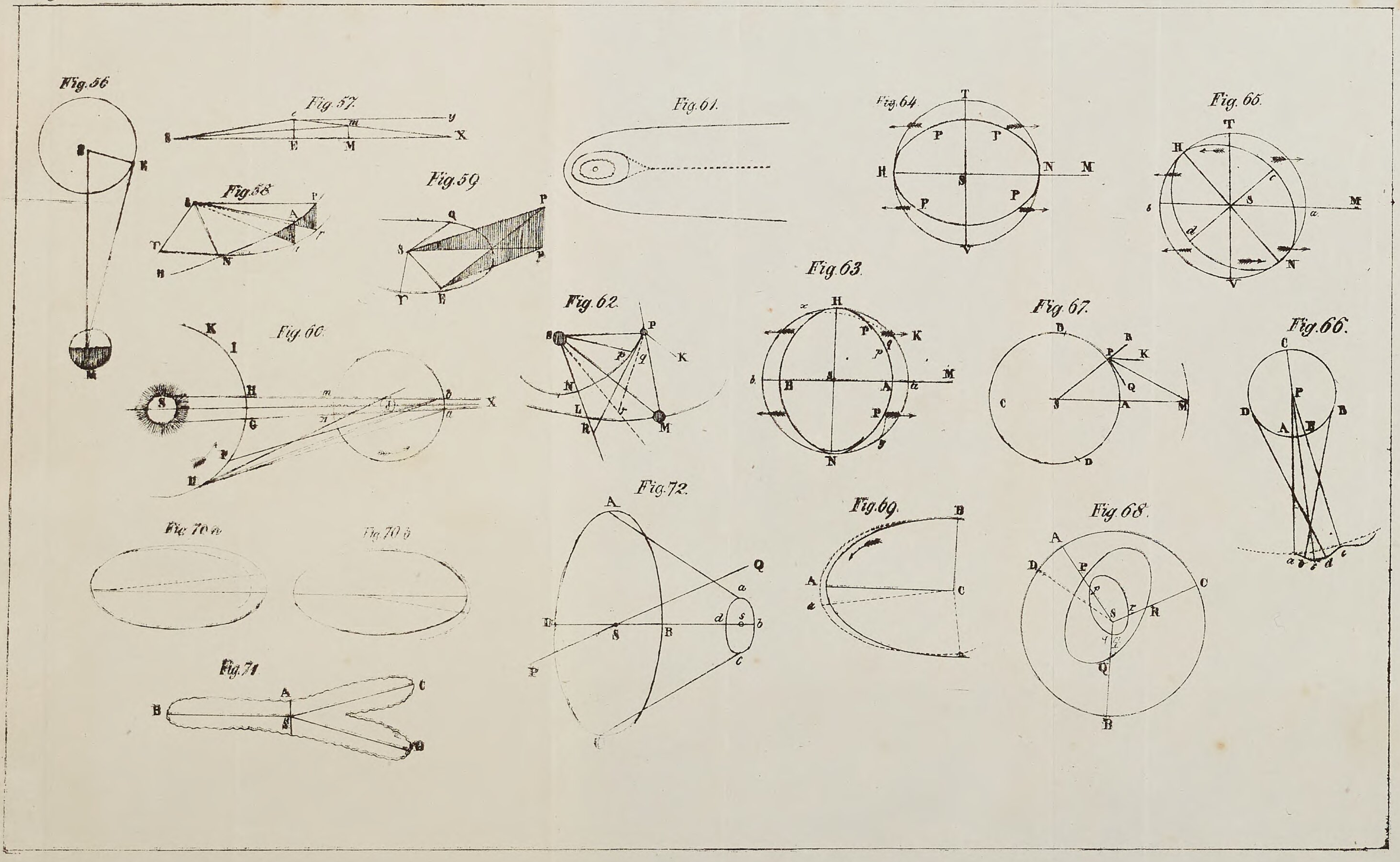


Fig. 37.
Fig. 38.
Fig. 39.
Fig. 40.
Fig. 41.
Fig. 42.
Fig. 43.
Fig. 44.
Fig. 45.
Fig. 46.
Fig. 47.
Fig. 48.
Fig. 49 a.
Fig. 49 b.
Fig. 50.
Fig. 51.
Fig. 52.
Fig. 53.
Fig. 54.
Fig. 55.

Taf. IV zu Herschel's Astronomie.



BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Herschel, John F. W.,

Die Lehren der Astronomie

Heilbronn [u.a.] 1838

Bamberg, Staatsbibliothek -- Astr.o.22-a
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11424172-5